

S. G. B O G D A N O V

---

# STUDIUL METALELOR ȘI TRATAMENTUL TERMIC AL OȚELULUI

TRADUCERE DIN LIMBA RUSĂ

---

E D I T U R A T E H N I C Ă



782.

S. G. BOGDANOV

**STUDIUL METALELOR  
ȘI  
TRATAMENTUL TERMIC  
AL  
OȚELULUI**

*TRADUCERE DIN LIMBA RUSĂ*

**EDITURA TEHNICĂ  
1952**



Această carte este destinată lucrătorilor calificați, maeștrilor și tehnicienilor a căror activitate este legată de atelierele de tratament termic și de laboratoarele uzinelor.

Ea conține noțiuni esențiale de metalografie și un studiu asupra tratamentului termic al oțelului și al fontei.

Capitole speciale tratează despre tratamentul termic al oțelurilor rapide și al oțelurilor de înlocuire, tratamentul termic prin presiune la temperaturi sub 0 grade, aliajele antifricțiune, metalele neferoase și mijloacele de protecție a metalelor împotriva coroziunii.

*TITLUL ORIGINAL*

С. Г. БОГДАНОВ

## МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

BOGDANOV S. G.: Studiul metalelor și tratamentul termic al oțelului; Ed. I, București, Editura Tehnică 1952; 237 pag + 124 fig.; lt 152 x 215 mm, lei 11.20. Tip. Centrul Poligrafic 2, filiala 4 — Sibiu; dat în lucru 5 XII, 1951, bun de tipar 28 II. 1952, hârtie cărți și oțet 65 g/m<sup>2</sup> 610 x 860/16. Tiraj 2000 + 100; col de tipar 14,50, col de editură 17,50; comanda 1138.

Pentru bibliotecile mici indicele de clasificare zecimală este 663.



## PREFAȚĂ

*Ridicarea calității și cantității producției cum și reducerea prețului de cost sunt condiționate, în mare măsură, de gradul în care muncitorii și personalul tehnic, și-au însușit metode înaintate de lucru.*

*În lupta pentru reducerea prețului de cost și pentru ridicarea calității produselor în domeniul prelucrării metalelor, muncitorii din atelierele de tratamente termice ocupă un loc de frunte.*

*Intradevăr, piesele care au fost supuse la o completă prelucrare mecanică și care au necesitat un consum mare de manoperă dacă nu sunt bine prelucrate în atelierele de tratamente termice, vor fi rebutate, sau vor fi montate la mașini care vor fi scoase din funcțiune prea devreme. Dacă s'ar calcula costul rebuturilor provenite dintr'un tratament termic greșit al pieselor și valoarea reparațiilor mașinilor scoase din uz din cauza acestor piese, s'ar ajunge la cifre uimitoare.*

*Prelucrarea termică, efectuată după ultima expresie a tehnicii, permite diminuarea pierderii metalelor prin ardere, reducerea timpului de oprire al mașinilor din cauza defectării diferitelor piese, reducerea uzurii și mărirea duratei lor de funcționare.*

*Introducerea noilor oțeluri rapide de înlocuire în industrie, cu utilizarea metodelor de aplicarea acestor oțeluri, prin sudură pe mușchiile de tăiere ale sculelor, cum și întrebuințarea nitrurării sculelor finisate, permit să se realizeze o considerabilă economisire a metalelor prea costisitoare.*

*Utilizarea călirii superficiale a pieselor dă posibilitatea de a li se îmbunătăți calitatea, de a se reduce rebutul și a se micșora consumul de energie pentru încălzirea lor. Folosirea mai largă în industrie a nitrocementării prin gaze va permite să se reducă din ce în ce mai mult procesul nitrurării, care nu poate fi aplicat în industrie în mod curent, din cauza duratei lui prea mari. Utilizarea încălzirii metalelor în atmosferă neutră capătă o importanță tot mai mare, deoarece prin această operație se poate obține o producție de calitate superioară (evitarea decarburării) și preveni pierderile metalului prin ardere.*



Pentru a valorifica avantajul utilizării atmosferei neutre a cup-toarelor, este suficient să menționăm că aproape 50% din toată producția metalurgică se transformă în arsură (țunder) din cauza încălzirilor repetate.

Încălzirea într'un mediu desoxidat permite a se reduce, și în unele cazuri, chiar a se evita complet toleranțele pentru prelucrarea pieselor pe mașini, întrucât absența arsurii dă posibilitatea ca piesele să fie prelucrate la cald cu respectarea destul de exactă a dimensiunilor. Micșorarea și eliminarea adaosului pentru prelucrare scurtează ciclul de fabricație al pieselor din fiecare atelier.

Având în vedere importanța mare a tratamentului termic, este necesar să se acorde o atenție mai mare atelierelor de tratament termic și laboratoarelor de uzine și să se desvolte cât mai mult lucrările de cercetări științifice, deoarece cheltuielile care se vor face pentru ele vor fi recuperate în cel mai scurt timp.

La întocmirea acestei cărți s'a ținut seamă de ultimele perfecționări tehnice din domeniul tratamentului termic al oțelurilor, iar expunerea diferitelor fenomene care au loc în oțeluri în timpul încălzirii și răcirii a fost făcută în mod științific și pe înțelesul tuturor.

Datorită volumului limitat al cărții, unele probleme, ca de exemplu: oțelurile aliate, fragilitatea în urma revenirii, nitrurarea și altele, nu sunt pe deplin descrise.

Aduc mulțumiri anticipate tuturor oamenilor muncii din industrie care își vor da părerea asupra acestei cărți.

AUTORUL



## INTRODUCEREA ȘI SCURT ISTORIC

Metalele au o deosebită importanță atât în economia fiecărei țări, cât și în viața de toate zilele. Nu există aproape nicio ramură a industriei în care metalele să nu-și găsească o largă utilizare. O cantitate deosebit de mare de metal se consumă în timp de război.

În tehnică și în viața de toate zilele a oamenilor au căpătat o largă utilizare metalele feroase (fierul și aliajele lui cu carbon, oțelul, fonta), metalele neferoase grele (cuprul și aliajele lui cu cositor, cu zinc, cu mangan, cu siliciu, etc., cum și plumbul cu aliajele lui) și metalele neferoase ușoare (alumiul, magneziul și aliajele lor).

Față de greutatea lor mică, aliajele alumiului și ale magneziului au calități și proprietăți importante, ceea ce face să fie tot mai mult utilizate în industrie. Astfel magneziul poate fi considerat pe drept cuvânt ca un metal de viitor.

Metale ca : aurul, argintul, platina, paladiul, etc., sunt scumpe și deaceia se utilizează în stare pură numai în cazuri excepționale. Platina, de exemplu, se întrebuințează la prepararea cuplurilor termoelectrice și a creuzetelor de laborator, iar argintul pentru siguranțe, pentru întrerupători speciali, etc. Metalele pure se utilizează foarte rar în industrie, întrucât ele au proprietăți mecanice inferioare. Excepție face cuprul, care având o conductibilitate electrică bună, găsește o largă întrebuințare în stare pură la fabricarea conductorilor, barelor, contactelor, etc., apoi alumiul din care se confecționează diferite vase, plumbul din care se fac plăci de acumulatori sau care se utilizează ca anod în galvanoplastie, etc.

Unele metale ca : nichelul, cromul, cadmiul sunt utilizate pentru acoperirea altor metale, cu scopul de a le proteja împotriva coroziunii și a le da un aspect mai frumos.

Metalele formează între ele aliaje care sunt larg utilizate în industrie și în gospodărie.

În tabela 1 se dau denumirile elementelor mai răspândite în tehnică, cu simbolurile lor respective și cu temperaturile lor de topire.



Tabela 1

Denumirile și temperaturile de topire ale celor mai răspândite elemente în tehnică

Denumirea elementelor	Simbolul chimic	Temperatura de topire în °C	Denumirea elementelor	Simbolul chimic	Temperaturi de topire în °C
Azot . . . . .	N	—	Cupru . . . . .	Cu	1 083
Aluminiu . . . . .	Al	658	Molibden . . . . .	Mo	2 620
Bariu . . . . .	Ba	850	Arsen . . . . .	As	850
Beriliu . . . . .	Be	1 285	Nichel . . . . .	Ni	1 452
Vanadiu . . . . .	V	1 710	Cositor . . . . .	Sn	232
Bismut . . . . .	Bi	268	Platină . . . . .	Pt	1 773
Hidrogen . . . . .	H	—	Mercur . . . . .	Hg	—38
Wolfram . . . . .	W	3 370	Plumb . . . . .	Pb	327
Fier . . . . .	Fe	1 535	Sulf . . . . .	S	113
Aur . . . . .	Au	1 063	Argint . . . . .	Ag	961
Cadmiu . . . . .	Cd	321	Stibiu . . . . .	Sb	631
Calciu . . . . .	Ca	851	Titan . . . . .	Ti	1 813
Oxygen . . . . .	O	—	Carbon . . . . .	C	—
Cobalt . . . . .	Co	1 490	Fosfor . . . . .	P	44
Siliciu . . . . .	Si	1 427	Crom . . . . .	Cr	1 550
Magneziu . . . . .	Mg	651	Zinc . . . . .	Zn	419
Mangan . . . . .	Mn	1 242			

Unele metale scumpe și rare (de exemplu niobiul, tantalul) se adaugă la diferite metale, ca aliaje, cu scopul de a se obține proprietăți speciale.

În ultimii ani, în tehnică și în viața de toate zilele, metalele au început să fie înlocuite cu materii plastice.

Piese din materii plastice sunt ieftine, au un aspect frumos și elegant și în același timp, în multe cazuri, au o rezistență destul de mare. Ele nu reclamă o prelucrare mecanică, întrucât capătă dimensiuni finite în matrițele de presare. O serie de probleme de bază care tratează despre industria și prelucrarea metalelor și aliajelor se datorează lucrărilor savanților și tehnicienilor ruși. Încă de la începutul dezvoltării metalurgiei, tehnicienii, inginerii și savanții ruși au contribuit într-o mare măsură, la dezvoltarea procedeelor moderne de prelucrare a metalelor. Acestea au fost condiționate de evoluția istorică. În Rusia, elaborarea metalelor a început din timpuri vechi. Cum arată V. V. Danilevski<sup>1)</sup>, Rusia într-o anumită vreme, a ocupat locul întâi în ceea ce privește extragerea și prelucrarea metalelor.

<sup>1)</sup> V. V. Danilevski, Tehnica rusă, Lenizdat, 1947.





În timp ce Anglo-Saxonii se serveau de topoare de piatră pentru apărarea statului lor, Rușii, având arme metalice, au apărut cu succes țara lor de năvălirea cuceritorilor asiatici.

În secolul al XVIII-lea, industria prelucrării metalelor a fost concentrată aproape exclusiv în Ural; Rusia ocupa primul loc în ceea ce privește extragerea metalelor.

O dovadă că în acel timp industria metalurgică era mult dezvoltată o constituie faptul că atunci au apărut o serie de cărți de metalurgie. Astfel în 1763 marele savant rus M. V. Lomonosov a scris primul manual rus de industrie minieră: „Bazele metalurgiei și ale mineritului“, în care au fost generalizate experiențe tehnice și s'au pus bazele științifice ale proceselor metalurgice.

În 1765—1767, Ivan Șlatter a publicat o lucrare în care sunt descrise mineritul și metalurgia din acele timpuri.

Unele cercetări ale lui M. V. Lomonosov în domeniul metalurgiei, și-au găsit aplicarea după 150 de ani dela moartea lui și nu au pierdut din importanța lor nici astăzi. El a pus bazele analizei calitative și cantitative care au o importanță extrem de mare pentru studierea proceselor metalurgice.

La dezvoltarea metalurgiei rusești a contribuit foarte mult și marele savant D. I. Mendeleev. Cercetările metalurgiștilor, fizicienilor și ale specialiștilor în studiul metalelor au contribuit, în mare măsură, la crearea unei metalurgii științifice. Renumitul metalurgist rus Pavel Petrovici Anosov din Ural a turnat cantități relativ considerabile de oțeluri speciale pentru arme albe. În 1837, el a reușit să facă săbii cu tăișuri foarte ascuțite, pe ale căror lame se vedeau în mod clar apele (vinele sau patina) caracteristice oțelurilor de Damasc vechi. Oțelul lui Anosov a fost renumit și cunoscut în toată lumea, exportându-se sub denumirea de oțel din Zlatoust. Săbiile fabricate din acest oțel tăiau oase și cuie, fără deteriorarea tăișului și în același timp, puteau fi îndoite la 90°. Ele tăiau în două o batistă subțire de voal aruncată pe tăiș, în timp ce săbiile englezești tăiau numai mătase grea. Pe drept cuvânt se considera că Anosov este inițiatorul industriei oțelurilor de calitate superioară.

El a studiat apele de pe lamele de săbii, cu microscopul, fiind primul care a utilizat acest procedeu de cercetare a metalelor. Prin lucrările sale, Anosov a contribuit la dezvoltarea cunoștințelor noastre asupra structurii oțelurilor. Lucrările lui „Descrierea procedurii nou pentru călirea oțelurilor în aer condensat“ (1827), „Despre prepararea oțelului turnat“ (1837) și „Despre armele albe din oțel de Damasc“ (1841), au avut o mare însemnătate în primul stadiu al dezvoltării studiilor metalurgice.

Profesorul Dimitrie Constantinovici Cernov a lărgit și mai mult cunoștințele noastre în domeniul studiului metalelor și deaceia este considerat ca fondator al metalurgiei și metalografiei. Lucrările lui,



publicate în 1868, au revoluționat toate cunoștințele asupra metalelor și au servit drept bază la dezvoltarea studiului științific al metalelor.

Lucrările profesorului Cernov au fost recunoscute în toată lumea. Astfel în anul 1900 la expoziția mondială dela Paris s'a declarat că toate succesele în dezvoltarea turnării oțelurilor se datorează tehnicianului rus Cernov. Renumitul savant francez Portvaine a scris în necrologul făcut la moartea lui D. C. Cernov următoarele:

„O viață atât de frumoasă, care a fost apreciată de lumea întreagă, face mare cinste Rusiei“. Henry Gou a dedicat lucrarea sa de metalografie, „părintelui metalurgiei, D. C. Cernov“, cum s'a exprimat chiar el.

Descoperirile lui D. C. Cernov referitoare la transformările care au loc în masa metalelor în timpul încălzirii (puncte critice) stau la baza metalografiei.

Inginerul minier Obuhov a fost primul care a obținut în cantități mari oțel turnat pentru tunuri, independent de Bessemer și de Martin. El a fabricat unul din cele mai bune oțeluri din lume. Tunurile fabricate de Obuhov aveau o mare durabilitate. Unul din aceste tunuri care a rezistat la 4000 de lovituri a fost expus la Expoziția mondială din Paris.

În anul 1869, inginerul Iznoskov a construit în uzina din Sormovsc primul cuptor rusesc de tip Martin. Savanții și tehnicienii ruși au contribuit mult la fabricarea metalelor neferoase. Prin lucrările lor, Sobolev, Petrov, V. Liubarschi, Musin-Pușchin, Socolov și alții, au contribuit la dezvoltarea procedeelor industriale pentru extragerea aurului și a platinei.

În anul 1865, academicianul N. N. Beketov a publicat o lucrare referitoare la metoda sa de obținere a aluminiului.

Până atunci aluminiul se obținea prin metode complicate și costisitoare, ceea ce făcea ca prețul lui să fie foarte ridicat. Aluminiul a fost denumit „argint din argilă“. Metoda lui Beketov n'a fost apreciată în Rusia, însă uzinele din străinătate și-au însușit-o foarte repede. Inginerul rus D. A. Peneacov a îmbunătățit metoda de obținere a aluminiului, iar acum toate uzinele din lume produc aluminiu după metoda descoperită în Rusia.

Teoria electrometalurgiei aluminiului a fost creată de profesorul Politehnicei din Petersburg P. P. Fedotiev (membru corespondent al Academiei de Științe din U. R. S. S.). Lucrarea lui despre „Cercetările experimentale asupra electrometalurgiei aluminiului“ a fost apreciată în toată lumea și tradusă în multe limbi străine. El a descoperit de asemenea metodele de obținere a altor metale pe cale electrolitică. Inginerii Semennicov, Alexeev, Ivanov și alții au adus perfecționări valoroase în metalurgia metalelor neferoase. Metoda propusă de Semennicov, pentru obținerea cuprului a fost aplicată în toată lumea. Cercetătorii ruși au pus bazele sudurii. Academicianul Vasile Vladimirovici



Petrov încă în anul 1802 a descoperit că între doi electrozi de cărbune se formează un fascicol luminos. Acest fenomen este cunoscut sub numele de arc electric. Înlocuind un electrod de cărbune cu unul metalic, el a descoperit că metalul se topește în zona fascicolului luminos. Această descoperire a pus bazele sudurii prin arc electric. În anul 1803 a publicat lucrări în care se arătau posibilitățile de a se produce oxizi și a se obține metale pure cu ajutorul electricității.

El este astfel fondatorul electrometalurgiei moderne.

Nicolae Nicolaevici Benardos a găsit o utilizare practică pentru arcul care se naște între doi electrozi, arc descoperit de Petrov. El a inventat o metodă pe care a numit-o „electrohefest” (Hefaistos, în limba greacă, este zeul focului și protectorul artelor și meseriilor bazate pe utilizarea tocului). Electrohefestul constă în următoarele: piesa de sudat se așează pe o nicovală metalică pusă în legătură cu unul din polii sursei electrice. Al doilea pol se leagă de electrodul de cărbune, iar în flacăra arcului se introduce o vergea de metal care, în acest fel, se topește. Cu ajutorul arcului electric, Benardos a început să sudeze piesele. Această metodă este larg utilizată în toată lumea la sudarea pieselor, la repararea defectelor de turnare, la remedierea pieselor crăpate sau sparte, la tăierea cu arc electric a materialelor, etc.

Perfecționarea ulterioară a sudurii electrice prin arc a fost făcută de Nicolai Gavrilovici Slavianov, care a înlocuit electrodul de cărbune printr'unul metalic.

Descoperirile lui Petrov, Benardos și Slavianov au fost uitate după moartea lor și numai după Revoluția din Octombrie sudura a ocupat locul ce i se cuvenea în industria U. R. S. S.

Mihail Constantinovici Curaco a început să lucreze ca lucrător manual în secția de furnale a uzinei din Alexandrovsc. Evidențându-se, el a devenit în scurt timp șef de secție la uzina din Kramatorsk. El a perfecționat construcția furnalelor și a creat construcția nouă a gurilor de vânt și a răcitoarelor.

În dezvoltarea științei metalurgice au adus contribuții însemnate lucrările următorilor savanți ruși: N. S. Curnacov, M. A. Pavlov, A. A. Baicov, V. N. Lipin, V. E. Grum-Grjimalo, V. P. Ijevski, S. P. Vologdin, I. A. Socolov, I. T. Bardin, N. T. Gudțov, A. A. Bocivari, M. M. Carnauhov, B. V. Starc, I. A. Oding și mulți alții. Unele lucrări ale acestor savanți au un renume mondial bine meritat. Ei au creat teorii originale și au descoperit metode noi pentru studiul metalelor. Cercetările lor teoretice sunt efectuate în strânsă colaborare cu industria, ceea ce favorizează progresul atât al științei, cât și al producției. Academicianul M. A. Pavlov a adus o mare contribuție în cunoașterea proceselor care au loc în furnale. Lucrările lui în acest domeniu sunt adoptate de metalurgiștii din toate țările și constituie lucrări de bază pentru furnaliști. Profesorul Grum-Grjimalo a elaborat teoria cuptoarelor metalurgice. Profesorul I. A. Socolov, studiind con-



dițiile de înnobilare a minereurilor de fier, a elaborat teoria topirii în furnale. Academicianul N. C. Curnacov a contribuit deasemenea mult la cunoașterea bazelor fizico-chimice ale metalurgiei fizice și extractive. Academicianul A. A. Baicov a creat teoria proceselor metalurgice și a elaborat metode extrem de exacte de analiză chimică. El a efectuat lucrări în legătură cu metodele pentru determinarea punctelor critice ale corpurilor solide și a contribuit la rezolvarea problemelor teoretice în studiul metalelor.

Academicianul I. T. Bardin face studii asupra problemei utilizării oxigenului suflat sub presiune în cursul operațiilor metalurgice. Sub conducerea lui se efectuează lucrările de turnarea oțelului în lingouri continui. Printr-o activitate intensă în domeniul proiectării, construirii și amenajării uzinelor, Baicov, Bardin și Pavlov au contribuit la dezvoltarea metalurgiei grele bazate pe cele mai noi cuceriri în știință. A. L. Baboșin și S. S. Steinberg au contribuit deasemenea prin lucrările lor la dezvoltarea studiului metalelor.

Academicianul N. T. Gudțov se ocupă cu studiul influenței elementelor rare asupra oțelurilor. Lucrările lui N. T. Gudțov în domeniul oțelurilor aliate, l-au ajutat să scoată în evidență explicațiile teoretice ale unor fenomene foarte complicate, care au loc în timpul solidificării și tratamentului termic al oțelului. Din punct de vedere al studiului metalelor el aduce un mare ajutor uzinelor din U. R. S. S., Institutelor de Cercetări și colaboratorilor științifici. Academicianul A. A. Bocivar a elaborat teoria măririi și micșorării rezistenței aliajelor, ceea ce a dat posibilitate să se utilizeze în uzine tratamentul termic al aliajelor neferoase. Curdiumov, membru activ al Academiei de Științe din R. S. S. Ucraineană, studiază problemele teoretice ale călirii oțelurilor. Prin lucrările sale, el contribuie la lămurirea unei serii întregi de fenomene complicate care au loc în oțeluri în timpul călirii și revenirii. J. A. Oding și S. J. Gulchin, membrii corespondenți ai Academiei de Științe din U. R. S. S., au adus contribuții importante în știință în ceea ce privește plasticitatea și rezistența metalelor. Academicianul S. P. Vologdin a elaborat un nou procedeu de încălzire a oțelului cu ajutorul curentului de înaltă frecvență. Instalațiile lui S. P. Vologdin sunt utilizate în largă măsură în uzinele din U. R. S. S. Academicianul V. P. Nichitin a pus bazele fabricării utilajului sovietic pentru sudură electrică. Metoda lui ieftinește considerabil operația de sudare. E. O. Paton, membru al Academiei de Științe a R. S. S. Ucrainiene, a propus o metodă de mare eficacitate pentru sudarea metalelor sub strat de fondanți. Instalația lui pentru sudură automată se utilizează tot mai mult în industrie. Hrenov, membru activ al Academiei de Științe a R. S. S. Ucrainiene, a inventat procedee noi de sudare semiautomată sub apă și de tăiere oxielectrică a metalelor.

Această enumerare a lucrărilor savanților ruși și sovietici cu renume mondial este departe de a fi completă. Guvernul țarist n'a



știut să consolideze locul întâi pe care l-a deținut țara în veacul al XVIII-lea în industria metalelor și Rusia țaristă a cedat primul loc altor state.

În anul 1913, în Rusia se produceau 4,2 milioane tone de fontă și oțel și 47,8 mii tone de cupru brut și electrolitic. Cu toate bogățiile sale naturale, Rusia deținea al cincilea loc în ceea ce privește elaborarea oțelului și a fontei și al șaptelea loc în ceea ce privește fabricarea cuprului. În Rusia țaristă aproape că nu se fabricau oțeluri aliate în afară de câteva uzine, care produceau oțeluri aliate pentru nevoile lor proprii.

În anii Puterii Sovietice, U. R. S. S. a obținut mari succese în dezvoltarea unei puternice industrii metalurgice. Cât de mult a progresat industria în U. R. S. S. se vede din faptul că în 1950 s'au elaborat 19,5 milioane tone de fontă și 25,4 milioane tone oțel. Probleme grandioase au fost puse în fața țării de către Tovarășul Stalin, care în 1946, la adunarea alegătorilor din circumscripția Stalin a orașului Moscova, a arătat că este necesar ca în fiecare an să se producă până la 50 milioane tone de fontă și până la 60 milioane tone de oțel.

→ În 1961 ~~un~~ <sup>la</sup> Congresul XXII al PCUS, <sup>se</sup> realizat o producție de fontă de 51,1 milioane tone, iar la oțel o producție de 71 milioane tone.

*In continuare se va dicta din Tălpășanu pag. 5 textul în chenar, după care urmează Capitolul III din textul scris.*

Observație

*Din istorie se poate scurta ce crezi de curiozitate.*



## CAPITOLUL I

### BAZELE METALOGRAFIEI

Înainte de a se studia tratamentul termic al oțelului, este necesar să se cunoască măcar pe scurt metalografia, deoarece fără înțelegerea bazelor ei nu se poate vorbi despre un studiu serios al tratamentului termic. Desigur, aici nu se pot pune în lumină toate problemele metalografiei și ale tratamentului termic, din cauza complexității și variației lor și din cauza volumului redus al acestei cărți.

Metalografia este știința care studiază dependența diferitelor proprietăți ale metalelor și aliajelor, de structura lor interioară. Între structura metalelor și aliajelor (care sunt o combinație de metale sau o combinație de metale cu metaloizi) și proprietățile lor mecanice există o dependență determinată. Precizarea acestei dependențe, și găsirea metodelor tratamentului termic și prelucrării mecanice, care dau metalului sau aliajului o structură specială, sunt probleme cu care se ocupă metalografia.

În prezent se cunoaște un mare număr de metale pure, care combinându-se între ele sau cu metaloizii, pot forma foarte multe aliaje. O cantitate mai mică sau mai mare de metale (elemente) sau de metaloide introdusă în aliaj, influențează simțitor structura lui interioară și proprietățile lui.

Felul prelucrării are de asemenea mare influență asupra aliajului sau a metalului pur. Tratamentul termic, procedeu care constă în încălzirea până la o anumită temperatură, în menținerea la acea temperatură, urmată de o răcire ulterioară cu o anumită viteză, schimbă foarte mult structura și proprietățile materialului. Prelucrarea mecanică la rece (de exemplu laminarea oțelului moale neîncălzit), schimbă de asemenea în mod sensibil proprietățile inițiale ale materialului.

Cu ajutorul metalografiei se poate stabili cu anticipație felul în care va trebui să se facă prelucrarea materialului, iar în unele cazuri se poate indica chiar compoziția chimică necesară pentru obținerea unor proprietăți mecanice speciale.



3.1.3 Metalografia a devenit o știință pe la 1870, când savantul rus D. K. Cernov a descoperit punctele critice. Odată cu apariția metalografiei s'a putut studia structura interioară a metalelor și a aliajelor și s'au putut observa schimbările provenite în ele în urma diferitelor prelucrări.

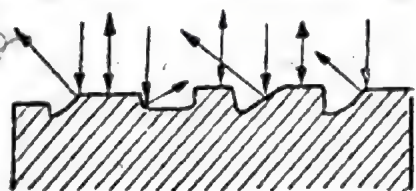
3.1.4 Pentru a studia un metal la microscop este necesar să se pregătească în mod special o probă. În acest scop, se ia o bucată mică din metalul care trebuie cercetat, se șlefuește pe o parte cu pila sau la polizor și apoi se curăță bine cu șmirghel de granulații diferite; la început cu șmirghel cu granule mai mari, apoi din ce în ce mai mici până când pe suprafața metalului rămân numai sgârieturi mici, după care se polizează pe o șaibă de postav sau de antilopă. În timpul polizării, șaibele trebuie să fie unse din abundență cu polir (pastă formată din oxid de aluminiu, crocus și altele).

3.1.5 Polizarea se face până când suprafața probei devine lucioasă ca o oglindă fără a avea vreo urmă de sgârieturi. Dacă privim la microscop o suprafață pregătită în acest fel, vedem o pată luminoasă, deoarece suprafața reflectă toate razele luminii. Proba se spală după aceasta cu alcool și se corodează cu diferiți acizi. Pentru oțel se întrebuintează de cele mai multe ori o soluție de alcool cu 2... 4% acid azotic sau picric (se poate întrebuinta apă în loc de alcool, dar oțelul va rugini repede). Pentru cupru se întrebuintează un reactiv cu aceeași cantitate de amoniac și 3% apă oxigenată. Acizii acționează diferit asupra diverselor componente ale aliajului, una corodându-se mai puțin, altele mai mult. Datorită acțiunii acizilor se poate determina structura interioară a metalelor sau a aliajelor. În acest caz, o parte din razele luminii căzând pe suprafața corodată se reflectă, iar altă parte se refractă (fig. 1), ceea ce la microscopul metalografic va fi văzut în chip de

pete înturecate și lucioase. Știind de la început felul cum acționează reactivul (acizii) asupra elementelor componente ale aliajului, se poate determina structura lui.

În prezent microscopul metalografic sunt foarte perfecționate și permit să se studieze structura metalelor mărită până

Fig. 1. Reflectarea luminii de pe suprafața corodată a probei. la 2500 ori.



3.1.5 Deși în practică se utilizează aliaje care sunt compuse din mai multe elemente, totuși până în prezent au fost cercetate amănunțit numai aliajele din două componente (binare).

Aceasta se explică prin faptul că aparatele și metodele existente nu satisfac condițiile cerute pentru cercetarea aliajelor cu mai mulți componenți. Odată cu dezvoltarea metodei roentgenografice, cercetarea metalelor și a aliajelor a făcut în această direcție un pas înainte. Având în vedere că în prezent s'a ajuns la utilizarea microscopului electronic care mărește de 20 000 ori, se poate spera că studiul structurii metalelor va progresa din ce în ce mai mult.



## 1. Considerații generale asupra structurii cristaline a metalelor

Corpurile existente în natură se compun din atomi sau molecule. Atomii sunt particulele infim de mici ale unui corp simplu, care au toate proprietățile lui chimice și care iau parte la toate acțiunile chimice pe care le suferă corpul din care fac parte. Moleculele sunt particule mai mari, compuse din doi sau mai mulți atomi diferiți, care formează un alt corp.

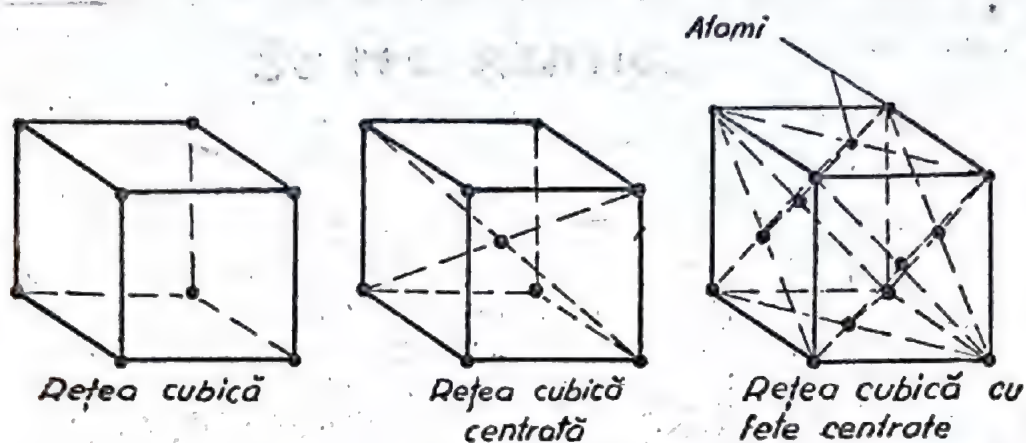


Fig. 2. Tipuri obișnuite de rețele.

Unele corpuri au structură cristalină, altele o au amorfă. Toate metalele sunt corpuri cristaline. Corpul cu structura cristalină are particulele din care este compus (molecule, atomi), dispuse în mod regulat, formând așa numita rețea cristalină atomică. Metalele au rețeaua cubică centrată sau cubică cu fețe centrate.

În capitolul V, se vor da noțiuni despre rețelele fierului și oțelului. Rețeaua cristalină se naște datorită forțelor de atracție și respingere care acționează între atomi. Aceste forțe depind de dispoziția atomilor și de distanța dintre ei. Pentru a distruge rețeaua cristalină trebuie să se consume un oarecare efort, care trebuie să învingă forțele ce acționează între atomi.

Atomii, în funcție de temperatură se așează în mod special în rețea, ceea ce provoacă o schimbare a proprietăților metalelor și aliajelor. O modificare a rețelei este însoțită de absorbirea sau de degajarea unei cantități de căldură.

Dacă trecerea corpului din stare lichidă în stare solidă se va face treptat, atunci așezarea corectă, în spațiu, a particulelor va fi însoțită de formarea unui corp solid cu o formă exterioară regulată (în formă de cristal).

Corpul cristalin se caracterizează prin anisotropie, care constă în faptul că proprietățile acelui corp depind de direcția după care sunt determinate, într-o direcție ele sunt mai mari, în altă direcție mai mici; aceste direcții se supun totodată unor anumite legi. Așa de exemplu, zincul, care nu se caracterizează prin plasticitate, permite să fie lungit până la 1700% într-o direcție determinată, la temperatura de 200°C.



Corpurile amorfe (sticla, ebonitul) se deosebesc de cele cristaline, prin aceea că proprietățile lor sunt identice în toate direcțiile. Materia care are proprietăți identice în toate direcțiile se numește isotropă.

La răcirea unei mase de metal topit, se nasc în primul rând așa numitele centre de cristalizare. Din aceste centre, ramuri cristaline cresc cu diferite viteze în trei direcții care se intersectează sub un unghi de  $90^\circ$ ; la sfârșitul răcirii se obțin cristale mari în chip de arbore. Din această cauză aceste centre cristaline au fost numite dendritice.

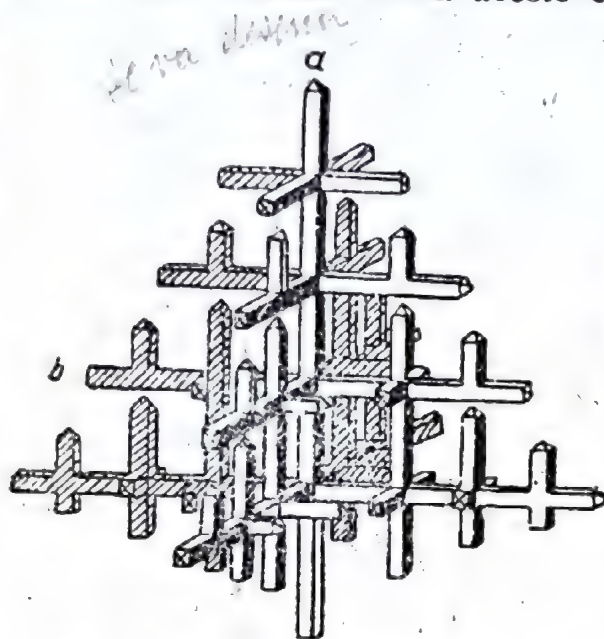


Fig. 3. Reprezentare schematică a cristalelor.

Dendrita are forma unui arbore (fig. 3), având trunchiul de bază *a* și ramificațiile perpendiculare și laterale *b* care se formează în timpul cristalizării, în al doilea rând. Denumirea de „dendrită” derivă din cuvântul grecesc „Dendron” care înseamnă arbore. În fig. 4 este reprezentat faimosul cristal al lui Cernov, pe care l-a descoperit într’un gol de retasură dintr’un lingou de 100 tone din oțel Martin. În acest cristal se vede clar așezarea uniformă a axelor. Numărul de cristale care se formează în metalul lichid cum și dimensiunile lor, depind de viteza de formare și de viteza de creștere a cristalelor.

Prin viteza de formare se înțelege numărul centrelor de cristalizare care se formează într’o unitate de timp într’un centimetru cub de metal topit.

În turnătorie prin viteza de creștere a cristalelor (care se exprimă în milimetri pe minut) se înțelege viteza de creștere a moleculelor în jurul centrelor de cristalizare.

Atât viteza de formare a cristalelor, cât și viteza lor de creștere (viteza de cristalizare) depinde de viteza de răcire. Cu cât viteza de răcire este mai mare, cu atât se formează mai multe centre de cristalizare și cu atât mai mică este viteza de cristalizare. Deaceia, la răcirea rapidă a metalelor sau a aliajelor, se formează o cantitate mare de cristale mici, iar la răcirea înceată cristalele au dimensiuni mai mari, dar numărul lor este mai mic.

În afară de viteza de răcire prezența adausurilor și a impurităților din metale influențează asupra caracterului cristalizării. Odată cu creșterea gradului de răcire se mărește considerabil și numărul centrelor de formare a cristalelor. În fig. 5 este reprezentată curba raportului dintre numărul centrelor de cristalizare, formate într’o unitate de timp



și gradul de răcire. Intersecția coordonatelor corespunde cu punctul de topire al substanței. Fiecărei temperaturi de răcire îi corespunde o ordonată anumită, care arată numărul centrelor de cristale formate în acel moment în metalul topit. Curba ne arată că la o răcire neînsemnată acest număr este foarte mic, iar la o răcire mai mare numărul crește la început încet, apoi foarte repede. În fig. 6 se arată curba raportului dintre viteza de cristalizare și gradul de răcire. Odată cu creșterea răcirii, viteza de cristalizare ca și viteza de formare a cristalelor la început se mărește, apoi un timp oarecare rămâne constantă pe porțiunea AB, și scade începând dela punctul B.

După cum am menționat mai sus, viteza de cristalizare nu este uniformă în toate direcțiile, fapt care explică formarea cristalelor regulate în formă de prismă sau cub. Cristalele formate nu pot să se desvolte liber, întrucât sunt împiedicate de cristalele vecine, din care cauză ele nu capătă o formă exterioară determi-

nată și regulată. Cristalele care au o structură *interioară* regulată și o formă exterioară neregulată se numesc cristalite.

Cu cât cristalele formate sunt mai mari, cu atât diferența între rezistența cristalelor secționate după direcții diferite este mai mare.

Metalul nu se solidifică sub forma unui singur cristal ci în mai multe cristale. Numărul lor în  $1 \text{ mm}^3$  poate oscila între 1 până la 1 000 000. Deoarece axele cristalelor au adeseori direcții diferite, proprietățile întregului metal vor fi identice în toate direcțiile.

Desigur, dacă se vor studia porțiuni foarte mici din acest metal, se va observa cu ușurință fenomenul anisotropiei. Asemenea metale formate din multe cristale, de dimensiuni mici și orientate în direcții diferite, se numesc cvasi-isotrope aparent (isotrope).

În timpul trecerii din stare lichidă în stare solidă, cum și în timpul răcirii ulterioare, aliajele suferă unele transformări însoțite de o oarecare degajare de căldură, cum și de o schimbare a structurii și a proprietăților lor.

Aceleași transformări se observă și la încălzire, însă în acest caz ele sunt însoțite de consum de căldură. Astfel, studiind schimbările proprietăților fizice (duritate, conductibilitate electrică, dilatare, etc.), în timpul încălzirii sau răcirii metalelor sau aliajelor, se pot determina temperaturile la care au loc aceste schimbări. Pentru determinarea acestor temperaturi se utilizează adeseori procedeul termic, care se

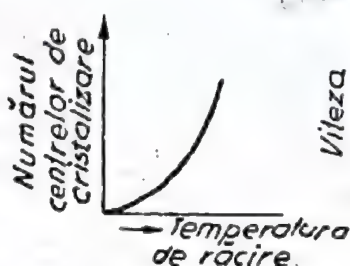


Fig. 5. Raportul dintre numărul centrelor de cristalizare și gradul de răcire.

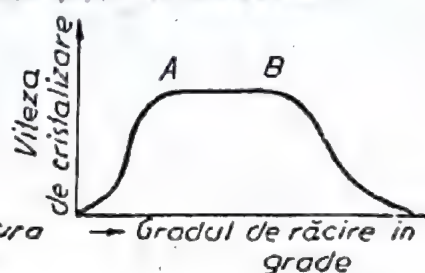


Fig. 6. Raportul dintre viteza de cristalizare și gradul de răcire.



bazează pe faptul că fiecare schimbare în aliaj este însoțită de un efect termic. Acest efect poate fi ușor constatat, deoarece el se observă din variația uniformă a temperaturii.

4.1.7 Temperatura la care se produc salturi de cădere sau de ridicare a temperaturii aliajelor, este temperatura de transformare a aliajului sau punctul lui critic. Astfel, temperaturile la care se produc transformările fizice sau chimice ale metalului sau ale aliajului se numesc puncte critice. Pentru a lămurii cele arătate mai sus, se va urmări, solidificarea metalului pur.

Se va răci plumbul topit și se vor urmări variațiile temperaturii cu ajutorul unui pirometru. La început temperatura va scădea uniform, apoi se va produce o staționare, adică temperatura nu va scădea un timp oarecare. Această staționare corespunde temperaturii de solidificare a plumbului (la  $327^{\circ}\text{C}$ ). Până ce nu se va solidifica tot plumbul, nu se va observa o scădere a temperaturii, cu tot consumul de căldură care are loc. Imediat ce tot plumbul va trece în stare solidă, temperatura va începe din nou să scadă uniform.

Aceste fenomene se explică în felul următor: în timpul trecerii plumbului din stare lichidă în stare solidă se degajează o căldură interioară, care menține temperatura la același nivel. Dacă se va nota scăderea temperaturii în timp și se va trasa o curbă, se va obține astfel o curbă de răcire (fig. 7), unde limita  $BC$  corespunde tempe-

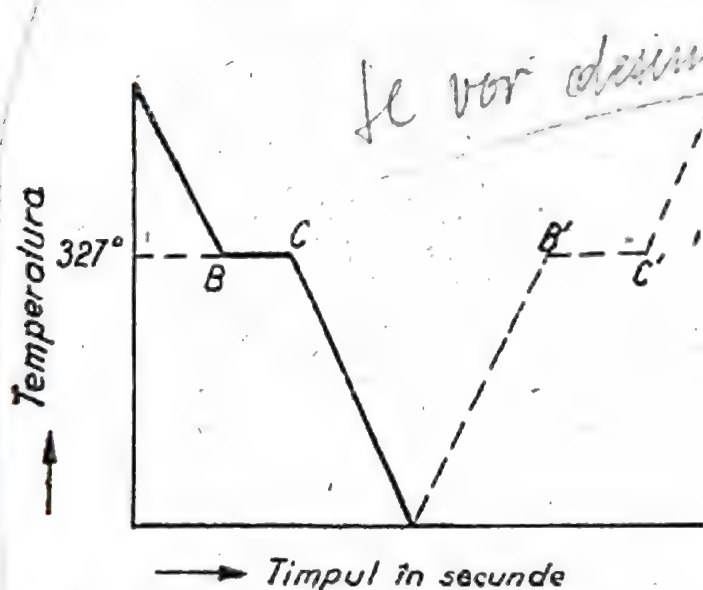


Fig. 7. Curba de răcire și de încălzire a plumbului.

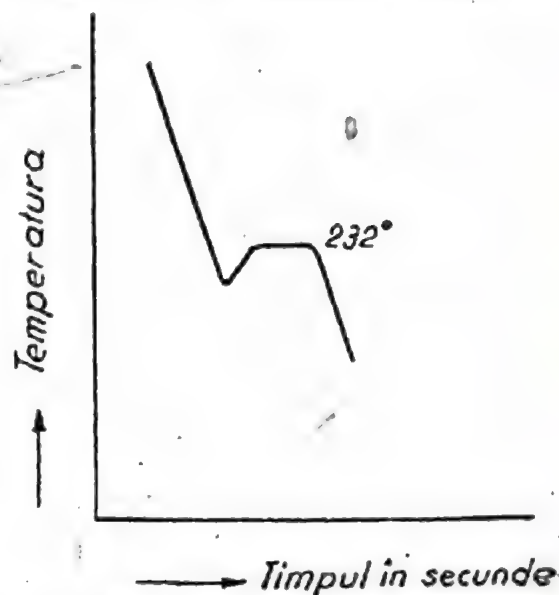


Fig. 8. Curba de răcire a cositorului.

raturii de solidificare a metalului pur. Dar la metale această curbă are adeseori o altă formă. Răcirea metalului lichid până la punctul lui de topire nu presupune că metalul începe imediat să cristalizeze.

Toate metalele pot fi suprarăcite (adică temperatura începutului de cristalizare poate fi întrucâtva mai joasă decât temperatura de topire). La unele metale această suprarăcire este aproape neobservată.



iar la altele ea atinge valori însemnate. Metalul lichid suprarăcit este nestabil și această nestabilitate este cu atât mai mare, cu cât suprarăcirea crește. În fig. 8 se arată curba de răcire a cositorului. Deși cositorul se solidifică la  $232^{\circ}\text{C}$  se vede după curbă că scăderea uniformă a temperaturii continuă ceva mai jos, adică temperatura scade la început, iar apoi în timpul solidificării se observă un salt și temperatura se ridică până la  $232^{\circ}\text{C}$ . Acest fenomen se numește suprarăcire și are o mare importanță în tehnică (de exemplu la călirea oțelului). Ridicarea bruscă a temperaturii este provocată de căldura care se degajează în timpul cristalizării metalului lichid. Fenomenul de suprarăcire poate fi agitat prin evitarea metalului lichid.

Dacă în tot timpul răcirii metalului solidificat se produce o trecere dintr-o stare solidă în alta, aceste transformări se numesc alotropice sau polimorfe. În acest caz, la scăderea temperaturii vom avea câteva puncte staționare.

Corpurile solide care suferă schimbări alotropice pot fi întâlnite sub diferitele stări.

## 5.1. 2. Noțiuni despre aliaje

În tehnică metalele pure se utilizează destul de rar; de cele mai multe ori se întrebuintează aliajele, care sunt corpuri compuse obținute din două sau mai multe componente. Corpurile care sunt necesare și suficiente pentru alcătuirea aliajului și care pot exista ca elemente pure sub formă de compuși chimici, se numesc componente.

5.1.1. Aproape întotdeauna aliajele se obțin prin topirea și disolvarea unuia sau a mai multor corpuri într'un alt corp, operație urmată apoi de o răcire. Aliajele se pot obține însă și fără topirea acestor corpuri. De exemplu: se poate obține aliajul aluminiului cu fierul sau al fierului cu carbonul prin încălzirea lor concomitentă, în stare solidă. Aliajele au proprietăți cu totul deosebite de cele ale corpurilor din care se compun. O cantitate mică dintr'un corp adăugată la alt corp îi schimbă considerabil proprietățile inițiale.

Există foarte multe aliaje, dar pentru a le cunoaște este necesar să analizăm câteva din cele mai caracteristice. Pentru studierea fenomenelor care iau naștere în aliaje, este necesar să se cunoscă în primul rând natura aliajului, iar pentru aceasta este nevoie să se dea câteva noțiuni despre amestecuri.

5.1.2. Când corpurile solide se găsesc în contact cu lichidele, ele se amestecă integral sau parțial cu acestea formând amestecuri omogene, numite soluții. Sunt bine cunoscute amestecurile apei cu sarea, cu zahărul, etc. Disolvarea unui corp în altul se explică prin faptul că particulele unui corp (atomi, molecule) pătrund în alt corp. Cantitatea de corp solid care se poate dizolva într'un volum anumit de lichid poate varia și depinde de natura celor două corpuri (zahăr, sare) de temperatură și de presiune.



Cantitatea de corp disolvat, exprimată în procente, constituie ceea ce se numește concentrația amestecului.

**5.1.3.** Corpurile solide, ca și unele corpuri lichide, constituie prin amestecul lor aliaje diferite. Un amestec simplu în care un corp solid este disolvat într'un alt corp se numește soluție solidă.

Deosebirea dintre soluția solidă și o combinație chimică constă în faptul că o combinație chimică are o dozare determinată, în timp ce concentrația unei soluții solide poate varia.

Amestecul solid se deosebește de cel lichid prin faptul că în amestecul lichid particulele corpului disolvat se găsesc într'o permanentă și desordonată mișcare, schimbându-și locurile lor, în timp ce într'un amestec solid atomii corpului disolvat ocupă, în spațiul rețelei disolvantului, o poziție definită.

Datorită analizei structurii, cu ajutorul razelor Roentgen, utilizate în cercetarea aliajelor, s'a putut stabili că în amestecul solid atomii corpului disolvat se găsesc înăuntrul spațiului rețelei disolvantului, între atomi, sau ocupă locurile atomilor disolvantului.

Pătrunderea treptată a particulelor unui corp în altul se chiamă difuziune. Difuziunea este utilizată în tehnică de foarte mult timp. De exemplu, de multă vreme se practică cementarea oțelului moale cu carbon, operație care are ca rezultat obținerea durității superficiale.

**5.1.4** Acest fenomen a putut fi explicat numai după ce a fost înțeleasă difuziunea între corpuri. Difuziunea este condiționată de concentrație și de temperatură. Cu cât concentrația a două corpuri ce vin în contact e mai diferită și cu cât temperatura e mai ridicată, cu atât se efectuează mai repede fenomenul difuziunii.

Intr'un aliaj solid se pot deosebi: soluția solidă, combinația chimică și elementele pure (metale sau metaloizi). Acestea din urmă pot exista sub formă de granule foarte mici și pot forma între ele amestecuri în care se pot observa elemente separate numai cu microscopul de o putere mare. Calitatea aliajului și proprietățile lui sunt determinate de prezența uneia sau alteia dintre componentele structurale.

### **3. Intocmirea diagramelor de echilibru ale aliajelor formate din doi componenți**

În timpul solidificării aliajelor formate din doi componenți se pot observa diferite cazuri de transformări caracterizate prin câteva tipuri de diagrame, așa numitele diagrame de echilibru. Diagramele de echilibru arată ce fel de componenți participă în aliaj la diferite temperaturi și presiuni.

Pentru aliajele de metal presiunea în condițiile obișnuite de efectuare a experiențelor este egală cu o atmosferă, din care cauză raționamentele în legătură cu diagramele de echilibru se fac ținând seama numai de temperatură și de construcția aliajului. De obicei, pentru întocmirea diagramelor de echilibru se iau câteva aliaje de diferite con-



concentrații și se definește temperatura care corespunde punctelor critice. Însemnând aceste temperaturi la o scară definitivă pe ordonatele care corespund cu un aliaj de o anumită concentrare și unind punctele obținute prin linii, se obține o diagramă de echilibru. Pentru a înțelege mai bine acest lucru, să se construiască o diagramă de echilibru pentru aliajele plumbului (Pb) și ale stibiului (Sb).

Se începe prin a se încălzi uniform plumbul; la temperatura de  $327^{\circ}\text{C}$  plumbul va începe să treacă din starea solidă în starea lichidă și cu toate că se continuă încălzirea, temperatura nu se ridică. Din moment ce întreaga cantitate de plumb va fi topită, ridicarea temperaturii începe din nou. În fig. 7 este prezentată cu linie punctată curbă de încălzire. Pe această curbă linia  $B' C'$  corespunde absorbției de căldură cu menținerea constantă a temperaturii. Se observă că în timpul răcirii și al încălzirii plumbului există un singur punct la temperatura  $322^{\circ}\text{C}$ , care arată sau solidificarea plumbului (curbă de răcire) sau topirea lui (curbă de încălzire). În felul acesta, temperatura de  $327^{\circ}\text{C}$  reprezintă temperatura critică a plumbului, căreia s'a obișnuit să i se spună, punctul critic.

Acum se ia un aliaj de cinci procente stibiu în plumb în stare lichidă și se începe răcirea lui, luându-i la intervale egale de timp o cantitate egală de căldură.

Se constată că scăderea uniformă a temperaturii se întrerupe după ajungerea la temperatura de  $296^{\circ}\text{C}$ . Incepând cu această temperatură, răcirea încetinește, cu toate că pierderea de căldură continuă cu aceeași viteză. Temperatura de  $296^{\circ}\text{C}$  corespunde începutului solidificării cristalelor de plumb. Această solidificare va continua până la temperatura de  $247^{\circ}\text{C}$ . Intrucât cantitatea de plumb în restul de aliaj lichid se micșorează, iar cantitatea de stibiu din el rămâne neschimbată, în acest caz concentrația, adică conținutul procentual de stibiu din aliaj se va mări odată cu scăderea temperaturii. La temperatura de  $247^{\circ}\text{C}$  conținutul de stibiu din aliaj va atinge  $13\%$  și în acest caz scăderea temperaturii se va opri definitiv. Această oprire corespunde solidificării aliajului cu  $13\%$  stibiu, care trece din starea lichidă în starea solidă formând cristale alternative de plumb și de stibiu.

După solidificarea completă a acestui aliaj, temperatura începe din nou să scadă.

În felul acesta până la  $296^{\circ}\text{C}$  a fost un aliaj lichid de  $5\%$  stibiu, iar dela  $296^{\circ}\text{C}$  până la  $247^{\circ}\text{C}$  s'au format cristale de plumb și aliaj lichid și în sfârșit, sub  $247^{\circ}\text{C}$  — s'au constatat cristale de plumb și aliaj solid, conținând  $13\%$  stibiu. Temperaturile de  $296^{\circ}\text{C}$  și  $247^{\circ}\text{C}$  reprezintă punctele critice ale aliajului de  $5\%$  stibiu și  $95\%$  plumb care s'au cercetat mai sus.

În fig. 9a este prezentată curba de răcire a acestui aliaj.

Dacă s'ar studia încă o serie de aliaje, cu un conținut de stibiu până la  $13\%$ , s'ar constata că temperatura primei opriri va depinde



de concentrația aliajului și anume: cu cât concentrația aliajului este mai mare, cu atât este mai scăzută temperatura. A doua oprire însă se va produce la aceeași temperatură ( $247^{\circ}\text{C}$ ) pentru toate aliajele. La răcirea unui aliaj de 13% stibiu se observă numai o singură temperatură (la  $247^{\circ}\text{C}$ ), în timpul căreia întregul aliaj lichid trece în stare solidă (fig. 9c).

Însfârșit, cercetând răcirea unui aliaj, care conține mai mult de 13% stibiu, se vor constata iarăși două puncte critice. Primul punct critic va corespunde începutului de formarea cristalelor de stibiu.

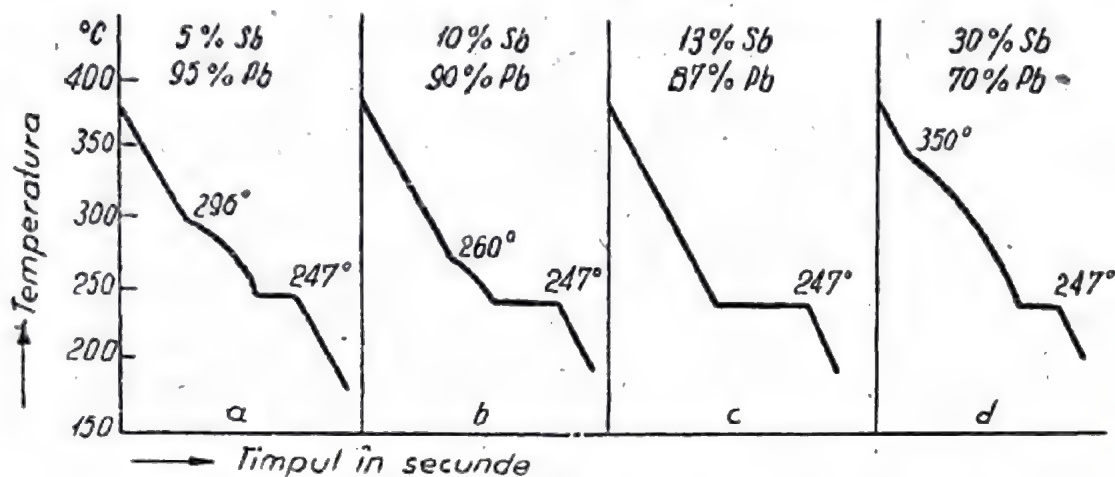


Fig. 9. Curbele de răcire ale aliajelor de plumb și stibiu.

Această formare a cristalelor și scăderea temperaturii vor continua până la  $247^{\circ}\text{C}$ . La temperatura de  $247^{\circ}\text{C}$  (al doilea punct critic) aliajul atingând concentrația de 13% stibiu, va începe să se solidifice, formând cristale alternative de stibiu și de plumb. O nouă scădere a temperaturii începe numai după ce aliajul se solidifică (fig. 9d). Astfel, până la prima oprire se constată un aliaj lichid, iar dela prima oprire până la a doua ( $247^{\circ}\text{C}$ ) se formează cristale de stibiu și aliaj lichid și în sfârșit, sub  $247^{\circ}\text{C}$  se vor găsi cristale de stibiu și aliaj solidificat cu un conținut de 13% stibiu.

Dacă se va urmări răcirea altor aliaje, care conțin mai mult de 13% stibiu, se va ajunge la concluzia că temperatura primului punct critic depinde de concentrația aliajului și anume cu cât este mai mult stibiu, cu atât temperatura va fi mai mare; temperatura celui de al doilea punct critic este aceeași pentru toate aliajele ( $247^{\circ}\text{C}$ ).

Dacă se va însemna pe axa absciselor (orizontală) la orice scară (se presupune  $1\text{ mm} = 10\%$  stibiu), conținutul procentual de stibiu în aliaj, iar pe axa ordonatelor (verticală) temperaturile corespunzătoare ale punctelor critice și se vor uni punctele obținute, se va desena o diagramă (fig. 10) de solidificare a aliajelor de plumb și de stibiu, sau așa numita diagramă de echilibru. Aceste diagrame se numesc adesea și diagrame de aliaj, întru cât ele înfățișază solidificarea și topirea aliajelor.



Linia  $ABC$  (fig. 10) reprezintă temperaturile critice, la care are loc prima schimbare de stare a aliajelor. Linia  $AB$  arată temperatura începutului de formare a cristalelor de plumb din aliajele care conțin mai puțin de 13% stibiu. Linia  $BC$  arată temperaturile începutului de formare a cristalelor de stibiu din aliajele care conțin mai mult de 13% stibiu. Linia  $ED$  corespunde solidificării aliajelor cu 13% stibiu.

Asemenea aliaje de una și aceeași compoziție, care se solidifică la temperatura cea mai joasă și constantă, se numesc aliaje eutectice (care se topesc ușor). Un aliaj eutectic solidificat se numește amestec eutectic sau eutectică. Eutectica constă din cristale alternative de plumb și de stibiu sub formă de plăci.

În fig. 11 sunt prezentate fotografii de aliaje, care conțin 5%, 13% și 40% stibiu (G. A. Cașcenco).

Pentru a se putea înțelege diagrama complicată fier-carbon, se cercetează întâi câteva diagrame, relativ simple:

- 1) Ambii componenți se separă din faza lichidă sub formă pură;
- 2) Componenții formează în cursul solidificării aliajului o serie de soluții solide de diferite concentrații;
- 3) Componenții se disolvă în stare solidificată unul în altul în cantități limitate;
- 4) Componenții formează una sau mai multe combinații chimice.

#### 4. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componenții se separă din starea lichidă sub formă pură și nu se disolvă unul în altul, în stare solidă

Se va cerceta mai deaproape diagrama aliajelor plumbului (Pb) cu stibiu (Sb) (fig. 10).

Dacă se ia un aliaj, care conține mai puțin de 13% stibiu și se începe răcirea lui, în acest caz la temperatura punctului  $m$  vor începe să se formeze cristale de plumb, iar aliajul lichid rămas va pierde plumb până în momentul când concentrația lui va atinge punctul  $B$ , ceea ce se va produce la  $247^\circ\text{C}$  (punctul  $m_1$ ). La această temperatură, întreaga soluție lichidă rămasă cu 13% stibiu se va solidifica, formând un amestec eutectic, constituit din cristale alternative de stibiu și plumb. Un aliaj răcit definitiv va fi format din plumb și din amestec eutectic.

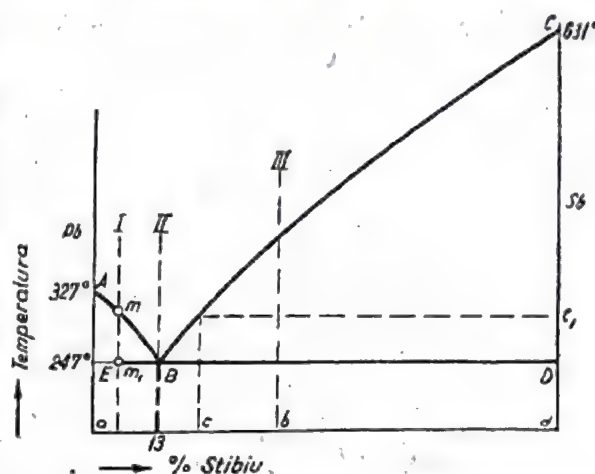


Fig. 10. Diagrama de echilibru a aliajelor de plumb cu stibiu.



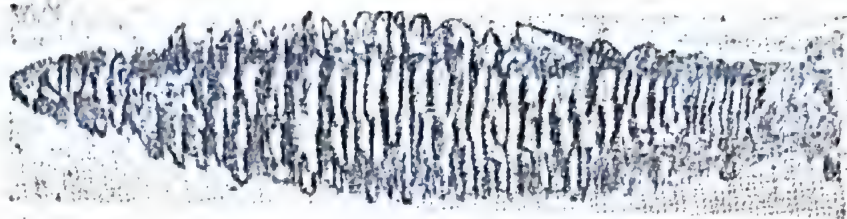


Fig. 4. Cristalul Cernov.

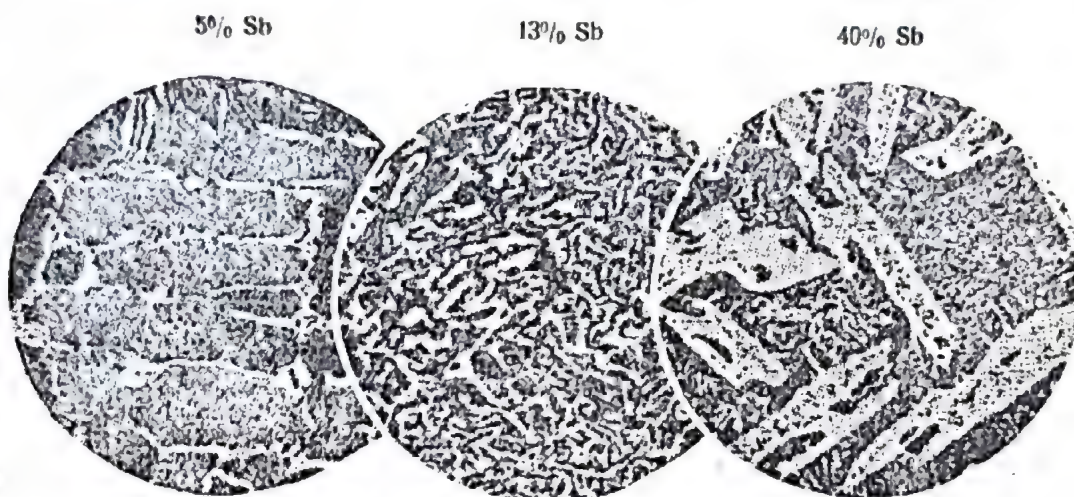


Fig. 11. Microstructura aliajelor de stibiu și plumb.

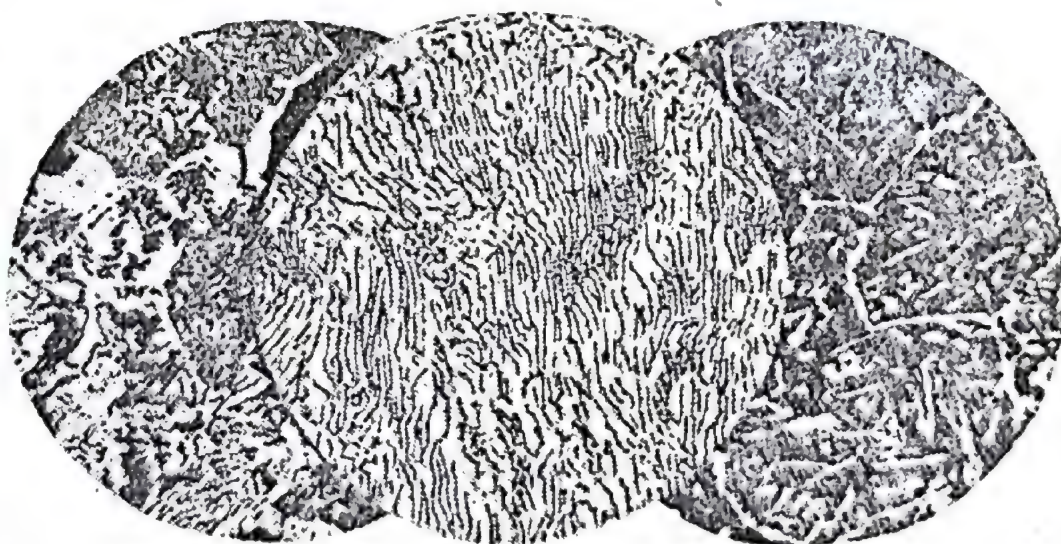


Fig. 18. Microstructura oțelului carbon:  
 a — aliajul I (ferită plus perlită);  
 b — " II (perlită);  
 c — " III (perlită plus cementită)



Dacă se încălzește un astfel de aliaj (fig. 10), atunci la  $247^{\circ}\text{C}$  amestecul eutectic se va topi, iar dacă se continuă încălzirea, se va începe topirea treptată a plumbului în aliajul lichid. Însfârșit, la temperatura punctului  $m$ , se va dizolva tot plumbul și mai sus de această temperatură va fi o singură soluție lichidă.

Aliajul din grupa II (eutectic) se va solidifica sau se va topi la aceeași temperatură ( $247^{\circ}\text{C}$ ).

Dacă se va lua aliajul din grupa III cu un conținut de stibiu mai mare  $13\%$  și se va răci, în acest caz, la început stibilul va cristaliza. După aceea nu se va mai produce nicio schimbare. Aliajul rămas cu un conținut de  $13\%$  stibiu se va topi (la încălzire) sau se va răci (la răcire), la aceeași temperatură ( $247^{\circ}\text{C}$ );

Diagrama de echilibru prezintă nu numai situația transformărilor care au loc în aliaje, ci și a raporturilor cantitative dintre cristalele formate și soluția inițială rămasă. De pildă, se va lua aliajul III, care conține  $ab\%$  stibiu și se va cerceta la temperatura  $t_1$ .

Se presupune că s'a luat în total  $Q$  g de aliaj.

Cantitatea cristalelor de stibiu ce se degajă din aliaj la temperatura  $t_1$  se va însemna prin  $x$ .

În acest caz cantitatea soluției inițiale va fi de  $Q - x$ .

În aliaj au fost în total  $Q \frac{ab}{100}$  g stibiu, iar la temperatura  $t_1$ , o parte din stibiu s'a lăsat în jos în stare pură, în timp ce altă parte a rămas în soluția inițială, de unde urmează:

$$Q \frac{ab}{100} = x + \frac{Q-x}{100} \cdot ac$$

unde  $\frac{Q-x}{100} \cdot ac$  — reprezintă cantitatea de stibiu, care a rămas în soluția inițială lichidă.

Simplificând expresia de mai sus, găsim:

$$Q \cdot ab = 100x + Q \cdot ac - x \cdot ac;$$

$$x(100 - ac) = Q(ab - ac).$$

Dar  $100 - ac = cd$ , iar  $ab - ac = cb$ .

Rezultă:

$$x \cdot cd = Q \cdot cb;$$

$$\frac{x}{Q} = \frac{cb}{cd}.$$

Scăzând din fiecare numitor numărul corespunzător, datorită cărui fapt ecuația nu se va schimba, se poate scrie:

$$\frac{x}{Q-x} = \frac{cb}{cd-cb}; \quad \frac{x}{Q-x} = \frac{cb}{bd}$$

Aplicând această ecuație la un aliaj la temperatură de  $247^{\circ}\text{C}$ , se poate defini cantitatea de eutectică formată.

Acest raport se păstrează și atunci când se continuă răcirea.



După primul tip de diagramă de echilibru se răcesc aliajele: cadmiu — zinc, cadmiu — bismut, plumb — argint, aluminiu — siliciu, aluminiu — staniu.

### 5. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componenții constituie în timpul răcirii o serie de soluții solide de diferite concentrări

Cercetând diagrama de mai sus, s'a văzut că soluția lichidă se descompune în timpul răcirii în cristalele unuia din metale și în eutectică (amestecul mecanic al stibiului și plumbului).

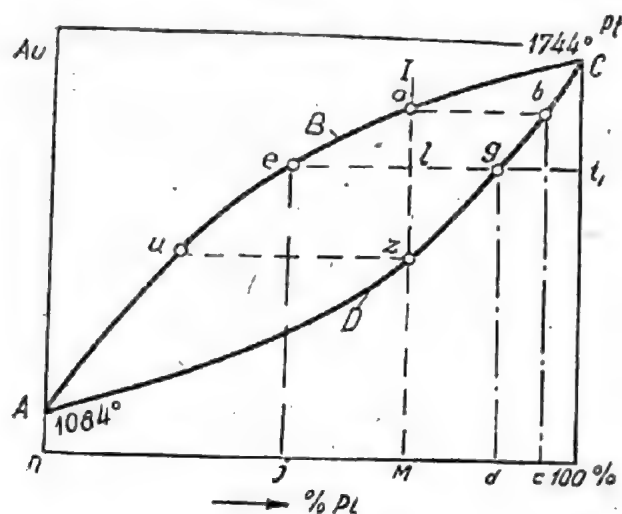


Fig. 12. Diagrama de echilibru a aliajelor de aur și platină.

Totuși există o serie de aliaje, la care nu se produce o astfel de descompunere, iar în timpul răcirii aliajului lichid se formează soluții solide. În unele cazuri, aliajele formează soluții solide la toate

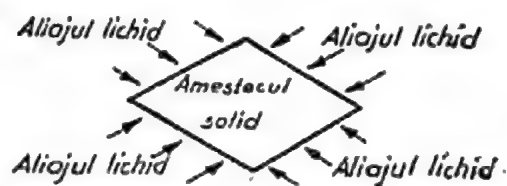


Fig. 13. Reprezentarea schematică de difuziune la solidificarea aliajului.

concentrațiile, iar în alte cazuri — numai până la anumite concentrații.

Drept exemplu din categoria primelor aliaje, pot servi aliajele din aur și platină (fig. 12).

Se ia aliajul I și se urmărește solidificarea lui. În punctul  $a$  începe separarea cristalelor soluției solide de aur în platină. Aceste cristale vor conține  $Oc\%$  platină. La scăderea temperaturii, separarea soluției solide va continua, dar conținutul în aur în această soluție va crește; iar aliajul lichid deasemenea se va îmbogăți cu aur. Aceasta se explică prin faptul că, cristalele care se separă conțin mai puțin aur decât soluția lichidă din care s'au degajat.

La temperatura  $t_1$  se formează o soluție solidă, a cărei concentrație se caracterizează prin punctul  $g$ ; cu alte cuvinte soluția solidă va avea  $Od\%$  platină; concentrația aliajului lichid rămas se va caracteriza prin punctul  $e$ .

La continuarea scăderii temperaturii, concentrația soluției solide se schimbă pe linia  $CDA$ , iar concentrația soluției lichide se schimbă



pe linia  $CBA$ , cu care ocazie cantitatea soluției inițiale se micșorează treptat, apropiindu-se în punctul  $u$  de zero adică în punctul  $z$  aliajul se solidifică în întregime.

Deși la început are loc formarea cristalelor soluției solide cu un conținut mai mic de aur, la o răcire mai lentă se obțin toate cristalele de aceeași concentrație. O astfel de creștere a cristalelor formate mai devreme se face în contul difuziunii din aliajul lichid.

O condiție absolut necesară pentru egalarea completă a concentrației este răcirea foarte lentă în timpul solidificării. Dacă aceasta n'ar avea loc, nu s'ar produce creșterea, la început, a cristalelor formate și ele ar fi de diferită concentrație. Fig. 13 ne prezintă o schemă în legătură cu fenomenul difuziunii la solidificarea unui astfel de aliaj.

A doua încălzire a aliajului solid până la temperaturi înalte și menținerea lui timp mai îndelungat la aceste temperaturi contribuie la egalarea concentrației, deși aici trebuie să se admită că unele elemente difuzează slab și din această cauză a doua încălzire aproape că nu are nicio influență asupra repartizării lor.

Cantitatea de cristale formate de o soluție solidă se definește în modul următor:

Se presupune că aliajul întreg va fi  $Qg$ .

Cantitatea cristalelor formate la temperatura  $t_1$  a unei soluții solide se însemnează cu  $x$ ; în acest caz  $Q - x$  reprezintă cantitatea soluției inițiale rămase.

Cantitatea totală a platinei în aliaj este de

$$\frac{Q \cdot O_M}{100} \text{ grame}$$

Cantitatea platinei în soluția solidă formată este:

$$\frac{x \times O_d}{100} \text{ grame}$$

Cantitatea platinei în soluția inițială:

$$\frac{Q - x}{100} \times O_j.$$

Evident că:

$$\frac{Q \cdot O_M}{100} = \frac{x \cdot O_d}{100} + \frac{(Q - x) \cdot O_j}{100};$$

$$Q \cdot O_M = x \cdot O_d + Q \cdot O_j - x \cdot O_j$$

$$Q (O_M - O_j) = x (O_d - O_j)$$

$$x = \frac{Q (O_M - O_j)}{O_d - O_j} = \frac{Q \cdot j_M}{j_d} = O \frac{el}{eg}.$$



## 6. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componentii se disolvă în stare solidă în raporturi limitate

Drept exemple ale acestor aliaje pot servi aliajele din plumb și bismut (fig. 14).

La răcirea aliajului lichid din grupa I (15% bismut și 85% plumb), în punctul *a* vor începe să se formeze cristalele soluției solide de bismut în plumb. Compoziția chimică a acestor cristale se poate defini dacă prin „*a*” se trage o linie orizontală până la intersecția cu linia *AF*.

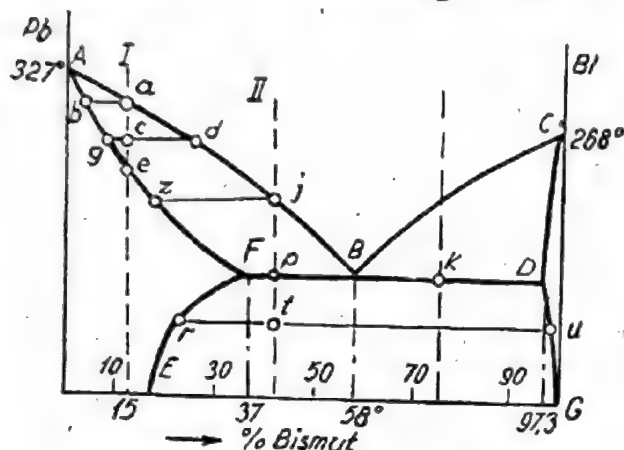


Fig. 14. Diagrama de echilibru a aliajelor din plumb și bismut.

Punctul de intersecție *b* va corespunde compoziției chimice a cristalelor formate. La următoarea scădere a temperaturii are loc o nouă formare de cristale a soluției solide din aliajul lichid. Compoziția soluției lichide se poate defini dacă se duce prin punctul corespunzător o linie orizontală până la intersecția ei cu linia *AB*.

De pildă, la o temperatură care corespunde punctului *c*, compoziția părții solide a aliajului se definește prin punctul *g*, iar compoziția aliajului lichid rămas — prin punctul *d*; cu alte cuvinte, cristalele formate vor conține aproximativ 10%, iar soluția lichidă — 25% bismut.

În punctul *e* aliajul lichid se va solidifica definitiv și se va constata o soluție solidă cu 15% bismut.

Se va urmări acum solidificarea aliajului din grupa II. În punctul *j* se vor forma primele cristale ale unei soluții solide de concentrații *z*. În punctul *p* aliajul se va solidifica complet și se va compune din cristalele compoziției „*F*” și ale compoziției eutectice „*B*”. În acest caz eutectica este formată din cristalele „*F*” (37% bismut) și din cristalele „*D*” (97,3% bismut).

La o continuare a scăderii temperaturii, cristalele soluțiilor solide își schimbă compoziția. Compoziția lor chimică va fi definită prin punctele de intersecție ale liniei orizontale cu liniile *FE* și *DG*. De pildă, la temperatura *t* compoziția lor va fi caracterizată de punctele *r* și *u*.

Însfârșit, într'un aliaj care conține mai mult de 58% bismut, în timpul solidificării se vor forma la început cristalele soluției solide de plumb în bismut. În punctul *K*, aliajul se va solidifica definitiv și va fi format din cristalele compoziției *D* și din eutectica compoziției *B*, care, cum se știe, este format din cristalele compoziției *F* și *D*.



## 7. Diagrama de echilibru a aliajelor, în care componentii formează combinații chimice în timpul solidificării

Drept exemplu al diagramei de acest tip poate servi diagrama de echilibru a aliajelor din magneziu (Mg) cu zinc (Zn) (fig. 15).

Pe linia  $AB$  începe să se formeze cristalele de zinc; pe linia  $BCD$  se formează o combinație chimică; pe linia  $DE$  se formează cristalele de magneziu.

Ordonata  $CF$  a diagramei se împarte în două, în care compusul comun va fi combinația chimică  $MgZn_2$ .

Împărțind diagrama în două părți se pot ușor constata fenomenele care se petrec în aliaje în timpul solidificării.

Pe această diagramă vor fi două amestecuri eutectice ale combinației  $B$  și  $D$ . Eutectica combinației  $B$  se compune din cristale de zinc și dintr-o combinație chimică. Eutecticul compoziției  $D$  se compune din cristale de magneziu și din aceeași combinație chimică  $MgZn_2$ .

Se va lua un aliaj de grupa I și se va urmări solidificarea. În punctul „a” începe să se formeze combinația chimică  $MgZn_2$ . La o continuare a răcirii va continua să se formeze combinația chimică, iar concentrarea soluției lichide rămase se va transforma după curba  $CD$ .

În punctul  $b$  va avea loc solidificarea aliajului, a cărui compoziție chimică se definește după punctul  $D$ . În felul acesta aliajul solidificat I va fi format dintr-o combinație chimică și din eutecticul  $D$ , care, la rândul său, se compune dintr-o combinație chimică și din magneziu pur.

Dacă se va lua un aliaj de grupa II, se va observa că începând cu punctul  $c$  se va forma Mg pur, iar în punctul  $d$  soluția lichidă rămasă de concentrația  $d$ , se va solidifica și aliajul va fi format din magneziu și eutecticul punctului  $D$ . După acest tip de diagramă se solidifică aliajele: magneziu-staniu, magneziu-cupru, magneziu-zinc, magneziu-bismut.

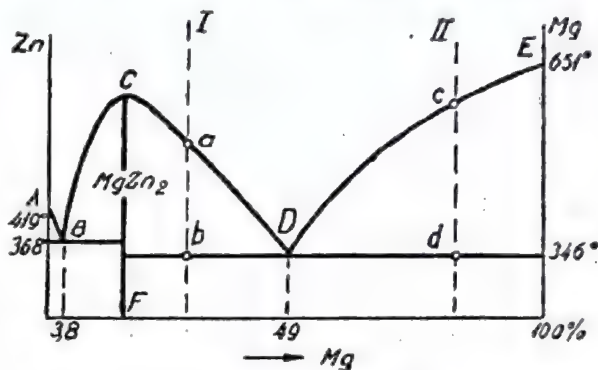


Fig. 15. Diagrama de echilibru a aliajelor din magneziu-zinc.

## 8. Diagrama de echilibru a aliajelor fier-carbon

După cercetarea diagramelor simple de echilibru a aliajelor se va cerceta acum o diagramă de echilibru compusă și foarte importantă pentru practică, diagrama aliajelor fier-carbon.

Diagrama fier-carbon a fost construită în 1899 pe baza unor serii de lucrări, dintre care prima este descoperirea lui D. C. Cernov, care



demonstrează că în oțel există puncte critice și că poziția acestor puncte depinde de conținutul de carbon.

În această diagramă (fig. 16) pe axa ordonatelor sunt însemnate temperaturile în grade, iar pe axa absciselor sunt însemnate compoziția aliajelor, din care ultimul aliaj conține 6,67% carbon. Aliajele cu un conținut mai mare de carbon nu prezintă interes. La fel ca și în diagramele cercetate mai sus, liniile acestei diagrame arată temperaturile la care au loc transformările în oțel.

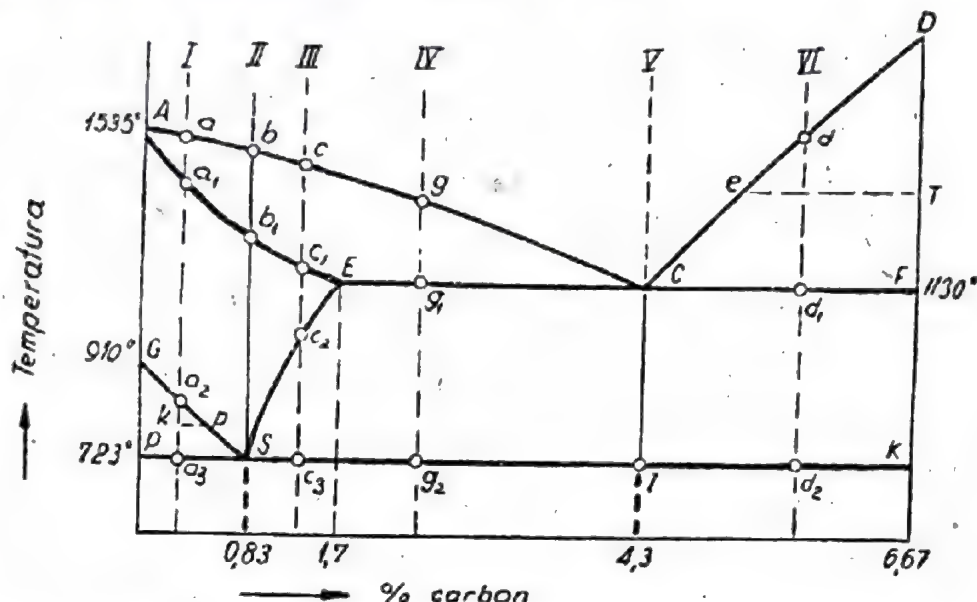


Fig. 16. Diagrama de echilibru a aliajelor fier-carbon.

Mai sus de liniile AC și CD aliajele se află în stare lichidă și reprezintă o soluție lichidă de carbon în fier. Liniile AC și CD caracterizează începutul, iar liniile AE și EF caracterizează sfârșitul solidificării aliajelor. A. A. Baicov este primul care a arătat că aliajele aflate în regiunea AESG, reprezintă o soluție solidă de carbon în fier  $\gamma$ . Această soluție se numește austenită.

În regiunea EFKS aliajele sunt compuse dintr'o soluție solidă (austenit) și din compoziția chimică  $\text{Fe}_2\text{C}$  (cementită), ce conține 6,67% carbon. Mai jos de liniile AC și CD aliajele, sunt compuse corespunzător dintr'un aliaj lichid și dintr'un aliaj solid (regiunea ACE) sau dintr'un aliaj lichid și din cementită (regiunea CDF).

Cum se poate ușor observa, partea de sus a diagramei ne amintește foarte mult de diagrama plumbului cu bismut. Totuși pe diagrama fier-carbon mai există câteva linii jos. Aceste linii corespund transformărilor care au loc în oțel în stare solidă.

Pe linia GS din austenită începe să se degaje fier curat (ferita), iar pe linia ES — cementită. Pe linia PSK depunerea încetează, iar austenita rămasă se transformă într'un amestec de ferită și cementită. Deoarece acest amestec nu este un produs al descompunerii aliajului



lichid, ci a soluției solide, deaceia se numește eutectoid sau amestec eutectoid.

Se vor lua câteva aliaje lichide de diferite concentrații și să urmărim ce se întâmplă cu ele în timpul răcirii.

*Aliajele cu un conținut de carbon până la 0,83%.* În punctul  $a$  (fig. 16) începe să se formeze din aliajul lichid cristalele soluției solide  $\gamma$  (austenită). Această transformare va continua până la punctul  $a_1$ . La temperatura ce corespunde punctului  $a_1$ , întregul aliaj se solidifică și va fi format din austenită. La o continuare a scăderii temperaturii până la punctul  $a_2$ , austenita rămâne fără transformări evidente și numai în punctul  $a_2$  începe să se degaje din ea ferită (fier pur, fier  $\alpha$ ). Compoziția chimică a austenitei rămase se va transforma pe linia  $GS$ . De pildă la temperatura care corespunde punctului  $K$ , se va afla compoziția sa chimică, dacă prin  $K$  se va duce o linie orizontală până la intersecția cu linia  $GS$ . Punctul  $p$  va caracteriza compoziția soluției solide rămase. Fierul  $\alpha$  nu este magnetic mai sus de  $775^\circ\text{C}$  dar mai jos de această temperatură capătă magnetism.

Însfârșit, în punctul  $a_3$  nu are loc nicio transformare și aliajul răcit complet va fi compus din ferită și perlită. În fig. 17  $a$  se prezintă schematic o ferită și perlită. Perlita este arătată sub formă de zone alternative de ferită și cementită, iar ferita — sub formă de rețea albă pe marginea boabelor de perlită.

La răcirea unui oțel cu 0,83% carbon (aliaj de grupa II), întreaga austenită trece în punctul  $S$  în perlită. De aici urmează că un asemenea aliaj se va compune din perlită (fig. 17  $b$ ). Un aliaj cu 0,83% carbon se numește eutectoid. Punctul  $S$  se numește punct eutectoid, iar linia orizontală  $PK$ , ce trece prin acest punct, se numește linie eutectoidă.

Oțelul cu un conținut de carbon mai mic de 0,83% poartă denumirea de oțel hipoeutectoid, spre deosebire de cel hipereutectoid, prin care se înțelege un oțel cu un conținut de carbon mai mare de 0,83%.

*Aliajele cu un conținut de carbon dela 0,83% până la 1,7%.* Se ia un aliaj de grupa III. La scăderea temperaturii aliajului lichid în punctul  $c$  (fig. 16) va începe să se degajeze austenitul și această degajare va continua până la punctul  $C_1$ . În punctul  $C_1$  aliajul se va solidifica complet și se va compune numai din austenită. La o scădere a temperaturii până în punctul  $C_2$  nu va avea loc nici o transformare. În punctul  $C_2$  va începe să se formeze o combinație chimică (cementita). Depunerea cementitei (conține 6,67% carbon) va provoca scăderea cantității de carbon în austenită, pentru care fiecare moment dat se va defini prin punctul de intersecție  $ES$  cu linia orizontală, trasă la temperatura corespunzătoare. Însfârșit în punctul  $C_3$  austenita rămasă cu o concentrație de 0,83% carbon se descompune în perlită.

Astfel și în acest caz austenita rămasă se transformă în perlită. Totuși în aliajul de grupa I mai exista încă ferită, în timp ce într'un



aliaj de grupa III în loc de ferită va fi cementită, adică aliajul de grupa III după răcire se va compune din perlită și cementită. În fig. 17 *b* avem o prezentare schematică a acestui aliaj unde cementita este arătată sub formă de rețele și ace. În fig. 18 sunt prezentate microfotografii ale oțelului hipoeutectoid, eutectoid și hipereutectoid.

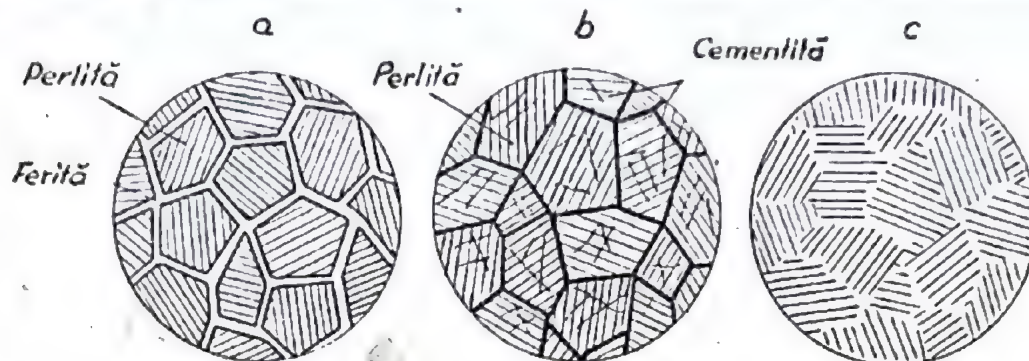


Fig. 17. Prezentarea schematică a feritei, perlitei și cementitei.

*Aliaje cu un conținut de carbon dela 1,70% până la 4,30%.* Să luăm un aliaj lichid de grupa IV. În punctul *g* începe separarea austenitei. La o continuare a scăderii temperaturii concentrația aliajului lichid rămas se transformă pe linia *AC*, iar concentrația austenitei — pe *AE*. În punctul *g<sub>1</sub>* întregul aliaj lichid rămas cu o concentrație de 4,30% carbon se va transforma în amestec eutectic, compus din austenită cu o concentrare de 1,70% carbon și din cementită. În felul acesta aliajul la temperatura punctului *g<sub>1</sub>* va fi format dintr'un amestec eutectic numit ledeburită și din austenita care se va degaja în intervalul temperaturilor dela *g* la *g<sub>1</sub>*.

La o continuare a răcirii, din austenită se va degaja cementita și conținutul de carbon din ea va începe să se micșoreze. Când temperatura se va coborî până la punctul *g<sub>2</sub>* austenita cu un conținut de 0,830% carbon, se va descompune în perlită.

Ca un rezultat al acestor transformări aliajul IV după răcire se va compune din perlită, cementită și ledeburită (fig. 19). Trebuie să nu uităm că la răcire ledeburita se transformă și că la o temperatură normală ea este formată din cementită și perlită.

La răcirea unui aliaj din grupa V cu un conținut de 4,30% carbon aliajul lichid se solidifică la o temperatură în punctul *G* (1130°C), formând un amestec eutectic (ledeburita). La o temperatură de 723°C, (punctul *b*) austenita ce intră în compoziția acestui eutectic se va transforma în perlită. În felul acesta, sub punctul *l* aliajul va fi format din eutectic (ledeburită) compus din perlită și cementită (fig. 16).

*Aliajele cu un conținut de carbon dela 4,30% până la 6,670%.* Dacă se ia un aliaj lichid din grupa VI și se urmărește solidificarea lui, se constată că la o răcire până la temperatura *d* (fig. 16) aliajul va rămâne lichid. În punctul *d* va începe să se degaje din el cemen-



tita. Deoarece cementita conține 6,67% carbon, aliajul lichid rămas în timpul răcirii va pierde neîncetat carbon. Concentrația sa la o temperatură anumită va fi definită de punctul de intersecție al liniei  $CD$  cu o linie orizontală, dusă de pildă prin punctul  $e$  corespunzător la temperatura  $T$ .

În punctul  $d_1$ , soluția lichidă rămasă, având o concentrație de 4,3%, se va solidifica, formând un amestec eutectic (ledeburita) și aliajul va fi compus din cementită și ledeburită.

În timpul răcirii vor avea loc alte transformări, iar la temperatura din punctul  $d_2$  austenita ce intră în compoziția ledeburitei se va transforma în perlită. Prin urmare, aliajul va fi format complet din cementită (fig. 20). Aliajele cu un conținut de carbon până la 1,7% se numesc obișnuit oțel, iar cu mai mult de 1,7% fontă.

La o răcire foarte înceată a aliajelor care conțin o cantitate mare de carbon (fontă), în loc de cementită se degajă carbon sub formă de grafit. Fonta în care există mult grafit se numește fontă cenușie, în timp ce fonta care-și păstrează cementita se numește fontă albă. În cazul răcirii foarte încete întreaga diagramă ia un alt aspect decât s'a arătat în fig. 16.

La încălzirea aliajelor se vor produce aceleași transformări, însă în direcția opusă. Pentru a se explica mai bine aceasta, se va urmări încălzirea câtorva aliaje.

Dacă se ia un oțel de 0,5% carbon, compus la temperatura obișnuită din ferită și perlită și se încălzește, se constată că până la linia  $PK$  (fig. 16) nu se va produce nici o transformare în oțel. În punctul  $a_3$  perlita se va transforma în austenită (cu o concentrație de 0,83% carbon). La o continuare a ridicării temperaturii ferita se va descompune treptat, ceea ce va provoca scăderea carbonului în austenită.

În temperatura corespunzătoare punctului  $a_2$  întreaga cantitate de ferită se va transforma într-o soluție solidă, care rămâne neschimbată până în punctul  $a_1$ . În punctul  $a_1$  soluția solidă va începe să se topească și se va transforma complet în soluție lichidă în punctul  $a$ . Dacă acest oțel va fi din nou supus unei răciri lente, din nou se va obține ferită și perlită.

Se ia un alt oțel, cu 0,83% carbon, și se încălzește. În starea inițială acest oțel va fi format din perlită. Până la punctul  $S$  nu va avea loc nici o transformare, însă în punctul  $S$  întreaga cantitate de perlită se va transforma în austenită, în care nu se întâmplă nici un fel de transformare până la punctul  $b_1$ . În punctul  $b_1$  austenita începe să se topească și se va transforma definitiv în soluție lichidă în punctul  $b$ .

Însfârșit, încălzind un oțel cu un conținut de 1,25% carbon, de asemenea nu se observă nici un fel de schimbare până la linia eutec-



tică. În punctul  $c_3$  perlita se transformă în austenită cu o concentrație de 0,83% carbon. La continuarea ridicării temperaturii se va dizolva cementita, ceea ce va provoca mărirea conținutului de carbon într-o soluție solidă. În punctul  $c_2$  întreaga cantitate de cementită va trece în soluție solidă, care în acest timp va conține 1,25% carbon. În punctul  $c_1$  va începe să se topească, iar în punctul  $c$  se va transforma definitiv în aliaj lichid.

## 9. Punctele critice ale fierului și oțelului

Știm că punctele de pe diagrama de echilibru reprezintă un loc geometric al temperaturilor critice. În timpul răcirii sau a încălzirii, un fier pur, are patru puncte critice. Punctele critice din cursul răcirii se deosebesc de punctele critice din cursul încălzirii, întrucât unele puncte critice din timpul încălzirii se află ceva mai sus.

Viteza de răcire (răcirea în cuptor, în aer, în ulei sau în apă) influențează mult asupra poziției punctelor critice. De obicei punctele critice se definesc la o răcire lentă, deși pentru aceasta ne folosim adesea de metoda călirii.

În fig. 21 este prezentată curba răcirii (AB) și curba încălzirii (CD) pentru fierul pur. Pe axa ordonatelor sunt înscrise temperaturile, iar pe axa absciselor — timpul.

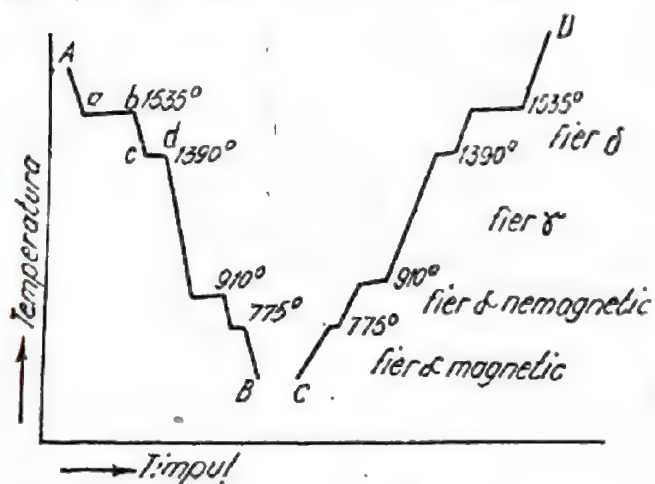


Fig. 21. Curbele de răcire și de încălzire pentru fierul pur.

Prima treaptă de temperatură (linia  $ab$ ) corespunde transformării fierului din starea lichidă în starea solidă ( $1535^{\circ}\text{C}$ ). La această temperatură se formează fierul  $\delta$ . După această oprire curba se coboară treptat până la linia  $cd$  ( $1390^{\circ}\text{C}$ ), care corespunde trecerii fierului  $\delta$  în fier  $\gamma$ . A treia treaptă ( $910^{\circ}$ ) corespunde trecerii fierului  $\gamma$  în fier  $\alpha$  nemagnetic. La  $775^{\circ}\text{C}$ , fierul  $\alpha$  nemagnetic devine magnetic, ceea ce se exprimă prin înclinarea curbei de răcire.

Mai înainte se presupunea, că fierul  $\alpha$  magnetic este o modificare independentă a fierului și i se atribuia o notație specială (fier  $\beta$ ), dar în prezent s'a stabilit, că fierul  $\alpha$  și fierul  $\beta$  au aceeași rețea de cristale și se deosebesc numai prin proprietățile magnetice.

Curba de încălzire are următoarele trepte:

- La temperatura de  $775^{\circ}\text{C}$  fierul  $\alpha$  magnetic trece în fier  $\alpha$  nemagnetic;
- la temperatura de  $910^{\circ}\text{C}$  fierul  $\alpha$  nemagnetic trece în fier  $\gamma$ ;
- la temperatura de  $1390^{\circ}\text{C}$  fierul  $\gamma$  trece în fier  $\delta$ ;
- la temperatura de  $1535^{\circ}\text{C}$  fierul  $\delta$  se topește.



În felul acesta diferitele modificări ale fierului există în anumite intervale de temperaturi.

La răcire	La încălzire
fier $\delta$ . . . . . 1 535 ... 1 390 °C	fier $\alpha$ -magnetic până la . . . . 775 °C
fier $\gamma$ . . . . . 1 390 ... 910 °C	fier $\sigma$ -nemagnetic . . . . 775 ... 910 °C
fier $\alpha$ -nemagnetic . . . . 910 ... 775 °C	fier $\gamma$ . . . . . 910 ... 1 390 °C
fier $\alpha$ -magnetic sub . . . . 775 °C	fier $\delta$ . . . . . 1 390 ... 1 535 °C

Spre a deosebi punctele critice la încălzire și la răcire, la notația lor (A) se adaugă literele *c* și *r* cu cifrele 1, 2, 3 și 4 (fig. 21).

Oțelul mai are un punct critic  $A_1$ , care corespunde cu descompunerea austenitei în perlită.

Dăm mai jos notațiile punctelor critice ale oțelului;

#### La încălzire:

1.  $Ac_1$  — temperatura la care perlita trece în soluție solidă cu o concentrație de 0,83% carbon;
2.  $Ac_2$  — temperatura la care fierul  $\alpha$  magnetic devine nemagnetic;
3.  $Ac_3$  — temperatura transformării definitive a feritei (fier  $\alpha$ ) în soluție solidă (fier  $\gamma$ );
4.  $Ac_4$  — temperatura de trecere a fierului  $\gamma$  în fier  $\delta$ ;
5.  $Ac_{grade}$  — temperatura descompunerii definitive a cementitei în soluție solidă.

#### La răcire:

1.  $Ar_4$  — temperatura de trecere a fierului  $\delta$  în fier  $\gamma$ ;
2.  $Ar_3$  — temperatura la care ferita începe să se degajeze din soluția solidă;
3.  $Ar_{grade}$  — temperatura la care cementita începe să se degajeze din soluția solidă;
4.  $Ar_2$  — temperatura la care fierul  $\alpha$  nemagnetic devine magnetic;
5.  $Ar_1$  — temperatura de transformare a soluției solide cu o concentrație de 0,83% carbon în perlită.

Punctele  $Ac_1$  se află pe linia *PK* (fig. 16), punctele  $Ac_{grade}$  — pe linia *SE* și punctele  $Ac_3$  — pe linia *SG*.

Asupra poziției punctelor critice ale oțelului au o mare influență amestecurile speciale.

Punctele  $Ac_1$  și  $Ar_1$  se numesc puncte critice inferioare, iar  $Ac_3$ ,  $Ac_{grade}$ ,  $Ar_3$  și  $Ar_{grade}$  — se numesc puncte critice superioare.

Punctele critice  $Ac_1$  și  $Ac_3$ , foarte importante pentru tratamentul termic, au fost descoperite de învățatul rus D. C. Cernov. Descoperirea acestor puncte a pus bazele studierii științifice a proceselor care se petrec în metale. Cât de genial a fost D. C. Cernov se poate vedea din faptul că el și-a făcut descoperirile pe bază de cercetări, făcute fără nici un aparat.



## DEFECTELE OTELULUI ȘI CONTROLUL TURNĂRII

Oțelul topit se toarnă în forme de oțel sau de fontă.

Turnarea se face pe sus, sau pe jos, cu ajutorul unui sifon. Aceste forme se numesc lingotiere, iar oțelul solidificat în ele poartă denumirea de lingou. Lingourile pot avea secțiunea rotundă, pătrată, dreptunghiulară, octogonală și hexagonală (fig. 22). Secțiunea rotundă se utilizează foarte rar întrucât această formă contribuie la formarea crăpăturilor pe suprafața lingoului. Secțiunea rotundă se întrebuintează numai în cazul turnării lingourilor de dimensiuni mici.

Oțelul turnat în formă de lingou se numește oțel brui. Deși în practică lingoul nu se utilizează ca atare, totuși este foarte important

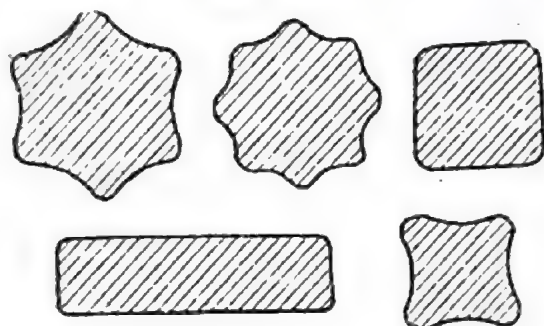


Fig. 22. Diferite secțiuni ale lingoului.

să cunoaștem acele defecte care se pot naște în oțel după solidificare și care trec într'un fel oarecare în piesele prelucrate. Aceste defecte ale oțelului cauzează uneori rebutarea pieselor la tratamentul termic sau duc la distrugerea neașteptată a pieselor în timpul funcționării lor.

Neajunsurile sau defectele oțelului pot fi clasate în următoarele grupe: retasuri, crăpături, pete și

## 10. Retasuri

**Retasuri și porozități.** Toate metalele, afară de cositor și bismut, își micșorează volumul la răcire. Acest fenomen dă naștere unei serii de defecte în timpul turnării oțelurilor.

A. S. Lavrov și N. V. Colocuçchi au explicat în anul 1866 cauzele formării retasurilor și suflurilor.

Oțelul topit, venind în contact cu pereții reci ai lingotierei, se întărește sub forma unei cruste, care este formată din cristale mici așezate în mod diferit. Crusta formată e mai groasă în partea de jos, întrucât în primul rând oțelul umple partea inferioară a lingotierei, iar în al doilea rând, pereții acesteia, fiind groși în partea de jos, contribuie la o răcire mai rapidă a oțelului. Cu toate că și în partea superioară se formează un strat întărit, totuși el nu atinge grosimi mari, deoarece răcirea se produce mai încet în partea superioară a lingoului decât în cea inferioară.

Deoarece solidificarea este însoțită și de o contracție de volum, între oțel și pereții lingotierei se formează un strat de aer care reduce



viteza schimbului de căldură a lingoului. Ulterior dela această crustă încep să se formeze și să crească cristalele. Aceste cristale se întind în interiorul oțelului lichid perpendicular pe pereții lingotierei. Ele se numesc cristale columnare. Paralel cu creșterea numărului lor, în tot volumul oțelului lichid se formează cristale care se depun.

Intrucât formarea cristalelor este însoțită de o contracție a volumului, în partea superioară a lingoului sub stratul solidificat se formează un gol.

În fig. 23 se arată schema formării unui lingou, elaborată de D. C. Cernov. Acest gol sau retasură poate ajunge uneori aproape până la fund, ceea ce constituie un mare defect deoarece, cu cât retasura este mai lungă, cu atât va fi necesar să se îndepărteze o parte mai mare a lingoului. Există mai multe metode de a reduce lungimea retasurilor, dar până în prezent, nu s'a putut ajunge la o evitare totală a lor.

Retasurile pot fi scoase în afara lingotierei într'un corp suplimentar în prelungirea lingoului, numit maselotă. Acest corp este format dintr'un material refractar, ceea ce face ca oțelul să rămână în stare lichidă un timp mai îndelungat și prin aceasta să micșoreze lungimea retasurii. La micșorarea lungimii retasurii contribuie de asemenea pereții groși din partea inferioară a lingotierei, forma mai largă a lingoului în partea de sus, cum și turnarea oțelului de sus în jos.

Problema retasurii are o mare importanță în metalurgie, noi însă ne vom limita la expunerea de mai sus.

În timpul solidificării oțelului, în partea centrală a lingoului și în vecinătatea retasurilor se formează goluri mici, invizibile pentru ochiul liber, datorită cărora oțelul devine poros. Această porozitate se datorește de asemenea contracției și se formează în cazul când oțelul se solidifică înainte de a completa toate golurile. Dacă forjarea sau laminarea oțelului se fac la temperaturi ridicate și sunt însoțite de o presare a lingoului, acești pori dispar prin sudură; în caz contrar ei pot da naștere la crăpături.

**Sufluri.** În afară de retasuri, în lingouri mai pot lua naștere goluri formate din cauza gazelor conținute de oțel. Oțelul în stare lichidă conține o cantitate mare de gaze, care ajung în lingou pe diferite căi. În timpul fabricării oțelurilor în convertisoarele Bessemer, în cuptoarele Martin sau în cuptoarele electrice, oțelul topit vine în contact cu gazele care se disolvă în el. Gazele din metale pot lua naștere și din pro-

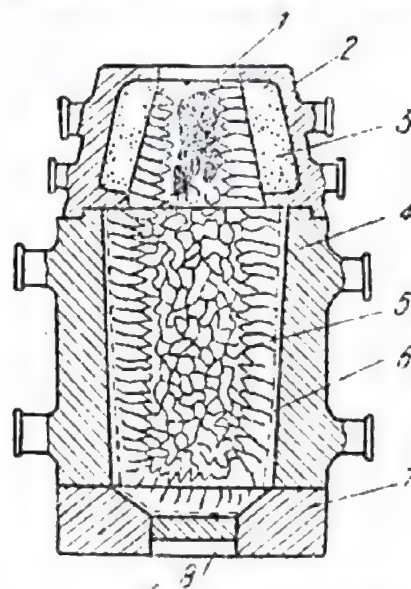


Fig. 23. Schema solidificării oțelului în lingotieră cu maselotă.

1 — retasură; 2 — maselota; 3 — căpușeala refractară; 4 — lingotieră; 5 — cristale columnare; 6 — crustă din cristale; 7 — fund; 8 — dop.



cesele chimice care au loc în masa metalului topit, cum și din acțiunea chimică a vaporilor de apă (care se află în gazele cuptoarelor) asupra metalului topit (vaporii de apă ajunși în cuptor odată cu aerul atmosferic vin în contact cu metalul topit și, disociindu-se în elemente, cedează hidrogenul metalului).

În timpul răcirii oțelului, gazele încep să se elimine sub formă de bule. O parte din bule se ridică în sus măbind retasura, iar altă parte rămâne în interiorul lingoului.

În afară de cauzele arătate mai sus, gazele pot lua naștere în metale și în următorul fel: picăturile sub formă de stropi, căzând în timpul turnării pe peretii lingotierei, se oxidează sub influența aerului. După umplerea lingotierei, carbonul din metalul topit intră în combinație chimică cu suprafața oxidată și formează gaze (oxid de carbon) care rămân în oțel sub formă de bule.

O parte din sufluri ajung la suprafața lingoului unde se oxidează, iar altă parte rămâne în interiorul lingoului. Suflurile interioare ca și porozitatea de retasură pot dispărea prin sudură în timpul forjării și laminării, cele exterioare însă nu se sudează din cauza pereților lor oxidați. În acest din urmă caz, produsele laminate au la suprafața lor fisuri mici.

O cantitate mică de aluminiu, adăugată la oțelul turnat, reduce numărul suflurilor formate în lingouri. Aluminiul însă înrăutățește calitatea oțelului, deoarece combinându-se cu oxigenul din metal dă naștere la impurități.

## P. Aci 11. Crăpăturile (Fisurile)

În lingouri se formează adeseori crăpături. Acestea se datoresc mai multor cauze:

1. Bavurile care se formează în golul *B* dintre lingotieră și maselotă (fig. 24) dau naștere crăpăturilor transversale *C*, deoarece lin-

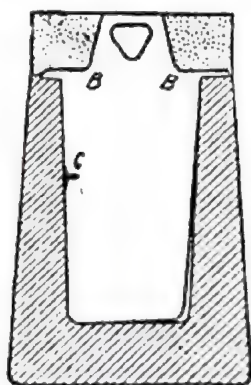


Fig. 24. Formarea crăpăturilor transversale.

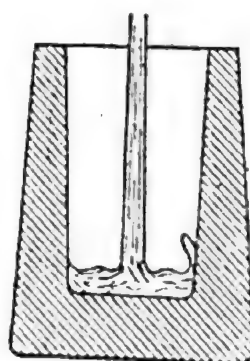


Fig. 25. Formarea stratului oxidat.

goul, rămânând suspendat pe bavuri, rupe prin greutatea lui coaja formată.



2. În timpul turnării pe sus, oțelul stropind pereții lingotierei, se solidifică sub formă de crustă compusă din picături oxidate. Uneori această crustă se disolvă formând gaze, dar de cele mai multe ori ea se strânge și pătrunde în interiorul lingoului. Deoarece acest strat este acoperit de o pătură de oxid, el nu se sudează cu oțelul în timpul forjării sau laminării, ci se îndeasă în metal, dând naștere crăpăturilor.

Defectele exterioare ale oțelului ca: bășici, crăpături, straturi oxidate, trebuie să fie îndepărtate de pe suprafața lingourilor. În caz contrar ele vor provoca în timpul forjării sau laminării crăpături mai adânci. În acest scop suprafețele lingourilor sau se strunjesc sau se curăță, în locurile cu defecte, cu ajutorul dălții.

## 12. Repartizarea neuniformă a elementelor (Segregația)

*Segregația zonală.* Se știe că oțelurile carbon conțin, în afară de carbon, și alte elemente ca: mangan, siliciu, fosfor și sulf. Acestea sunt repartizate în mod uniform în oțelul topit, însă în timpul răcirii începe a se solidifica mai întâi oțelul aproape liber de adașuri, în timp ce metalul rămas se îmbogățește de adașuri. La sfârșit se solidifică metalul de sub retasura de contracție. Prin urmare în acest loc vom avea un conținut mai ridicat de adașuri în comparație cu restul masei topite (fig. 23).

Această repartizare neuniformă a elementelor componente se numește segregație sau licuație. Ea a fost observată și explicată de A. S. Lavrov și N. K. Calacutchi. Carbonul, sulful și fosforul se separă mai ușor, adică se concentrează sub retasură, în timp ce manganul și siliciul acționează în mod contrariu, micșorând chiar capacitatea de segregație a primelor trei elemente.

După solidificarea lingoului, carbonul tinde să-și echilibreze repartizarea prin difuzie (trecerea din locurile bogate în carbon în părți mai puțin bogate) însă aceasta influențează prea puțin zona de segregație.

Segregația este un mare neajuns al oțelului; dacă segregația ajunge în piese (fig 26), ea poate da naștere la distrugerea neașteptată a pieselor în timpul funcționării lor.

Ruperea este provocată de influența vătămătoare pe care o au sulful și fosforul asupra oțelului. Această acțiune este cu atât mai mare, cu cât conținutul acestor elemente în zona de segregație este mai mare.

Zona de segregație are o influență foarte mare asupra oțelurilor aliate de calitate superioară.

Pentru a fi siguri că în piesă nu rămâne zona cu conținut mare de impurități, după forjare sau laminare, se taie din lingouri cel puțin 16%, iar în cazul oțelurilor de calitate circa 18...20%.

Temperatura oțelului în timpul turnării influențează asupra zonei de segregație. Cu cât oțelul este mai rece, cu atât zona de segregație



este mai mică. Alumiul adăugat în oțel în cantitate mică micșorează zona de segregare, dar mărește retasura.

**Segregația dendritică.** La răcirea oțelului lichid, se formează dendrite. În partea exterioară a lingoului, dendritele se așează astfel că axele principale merg perpendicular cu peretele lingotierei, iar în interior se așează după direcții diferite (fig. 27).

Această așezare a dendritelor se explică prin condițiile de răcire. Partea exterioară se răcește mai repede și pierderea căldurii se face perpendicular cu suprafața de răcire, pe când în partea inferioară, cădura se pierde în mod diferit, ceea ce provoacă orientarea diferită a axelor.

Deoarece la răcirea oțelului lichid, la început se formează cristalele cu conținut scăzut de carbon, axele dendritelor

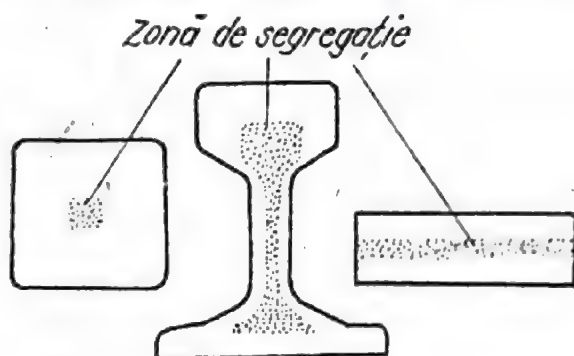


Fig. 26. Zona de segregare, observată în plese.

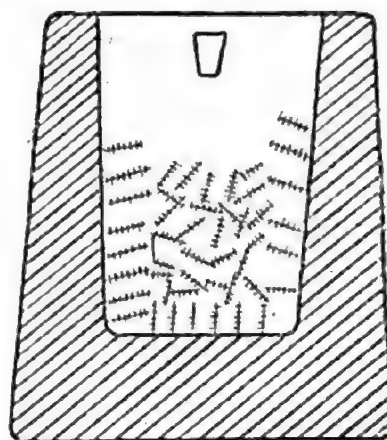


Fig. 27. Așezarea dendritelor în lingou.

conțin mai puțin carbon decât soluția lichidă rămasă (vezi diagrama fier-carbon). Oțelul lichid care se găsește între axele dendritelor trece ultimul în stare solidă și din această cauză conține cantitatea cea mai mare de carbon. Acestea se referă și la alte amestecuri. Astfel, în axele dendritelor și în spațiile interaxiale, concentrația carbonului și impurităților este aceeași. Acest fenomen poartă denumirea de segregare dendritică (licuație).

În timpul prelucrării mecanice la cald (forjare, laminare), dendritele se deformează și axele lor se întind, dar neuniformitatea inițială a compoziției chimice se păstrează aproape complet. O segregare dendritică foarte importantă se întâlnește la unele oțeluri aliate. În fig. 28 se dă microfotografia oțelului cu crom-nichel. Locurile de culoare deschisă reprezintă axele întinse ale dendritelor, iar cele de culoare închisă, spațiile interaxiale.

Rămânerea structurii dendritice în oțel nu este de dorit, deoarece, proprietățile mecanice ale acestui oțel în direcția longitudinală și transversală se vor deosebi foarte mult.



### 13. Fulgii și ruptura sinuoasă a oțelului

Un mare neajuns pentru uzinele care fabrică unele oțeluri speciale, îl constituie fulgii. Aceștia se observă în spărtura oțelului, sub formă de pete albe (fig. 29) și sunt niște crăpături microscopice. Cu privire la formarea fulgilor, există foarte multe păreri, dar majoritatea cercetătorilor au ajuns la concluzia că ei sunt provocați de prezența în oțel a porțiunilor defecte, în care, sub acțiunea tensiunilor ivite în timpul tratamentului, se formează crăpături mici intercrystaline, alungite. Aceste crăpături scad mult proprietățile mecanice ale oțelului și pot duce la ruperea pieselor în timpul funcționării lor.

Mulți specialiști explică formarea fulgilor prin fenomenul de segregare al impurităților și al gazelor în lingouri, la răcirea lor în lingotiere. De exemplu Prof. A. L. Baboșin leagă prezența porțiunilor defecte de segregarea dendritică. Oțelul cu segregarea dendritică foarte dezvoltată, este predispus la formarea fulgilor și din această cauză trebuie încălzit și răcit foarte atent și încet. Aceasta este provocată de faptul că transformarea fierului —  $\alpha$  în fier  $\gamma$  — în timpul încălzirii sau a fierului —  $\gamma$  în fier  $\alpha$  — în timpul răcirii în axele și spațiile interaxiale, nu se face în același timp, deoarece axele și spațiile interaxiale au conținuturi diferite de carbon și impurități.

Datorită faptului că aceste transformări sunt însoțite de schimbarea de volum, la limita între axe și spațiile interaxiale se nasc tensiuni care provoacă crăpături sub formă de fulgi.

Unii specialiști leagă formarea fulgilor numai de hidrogen, care separându-se în timpul răcirii, creează o presiune mare și provoacă formarea crăpăturilor.

De foarte multe ori în epruvete de oțel laminat sau forjat, ruptura are un aspect special, în care oțelul pare împărțit în straturi separate. În fig. 30 este reprezentată schematic această ruptură cunoscută sub denumirea de sinuoasă (solzoasă). Nici natura formării rupturii sinuoase nu este stabilită precis. Se știe doar că asupra gradului de sinuozitate are mare influență compoziția chimică a oțelului. De exemplu oțelul cu crom-nichel poate avea, în aceleași condiții, un grad de sinuozitate mai mare decât oțelul carbon obișnuit.



Fig. 30. Reprezentarea schematică a rupturii sinuoase.

După părerea unor cercetători, natura sinuozității se explică în special prin incluziuni străine (sulfuri, sguri), gaze și goluri, care în timpul tratamentului la cald se întind în direcția de laminare. Alți cercetători sunt de părere că structura sinoasă a oțelului se datorește fosforului, segregăției impurităților, dimensiunilor dendritelor, laminării, etc.



Mai mulți dintre factorii arătați mai sus creează împreună condiții favorabile pentru apariția acestui defect al oțelului.

Sinuozitatea influențează mai înainte de toate asupra proprietăților mecanice. Se știe că proprietățile mecanice ale epruvetelor, tăiate după trei direcții de laminare (longitudinal, transversal și perpendicular) au valori diferite. Proprietățile mecanice cele mai bune rezultă la epruvetele tăiate în direcția longitudinală, iar cele mai rele, la cele tăiate în direcția perpendiculară pe suprafața de laminare. Totuși diferența între proprietățile mecanice atinge valori maxime atunci când oțelul prezintă ruptură sinuoasă (fig. 31).

Comparând epruvetele longitudinale cu spărtură sinuoasă cu cele cu spărtură nesinuoasă, se observă că epruvetele cu spărtura sinuoasă au rezistența mai ridicată. Aceasta se explică prin faptul că la acest oțel, forța necesară pentru ruperea epruvetei este mai mare decât cea pentru oțelul cu structura normală, deoarece crăpăturile ce apar la ruperea epruvetei, pe măsură ce se răspândesc, întâmpină rezistențe transversale care le abat dela direcția inițială. În acest caz, crăpătura trebuie să se formeze în alt loc și se știe bine că este mult mai greu să se formeze o crăpătură din nou, decât să se prelungească una existentă.

Aceasta nu înseamnă că spărtura sinuoasă este utilă, deoarece în acest caz în oțel se formează foarte ușor crăpături în direcția longitudinală. De exemplu, sinuozitatea în oțelul destinat fabricării sculelor ce lucrează la presiune axială are o acțiune foarte vătămătoare, deoarece favorizează exfolierea (despicarea) oțelului în direcția longitudinală.

Fără să ținem seama de faptul că problema relativă la natura fulgilor și rupturi sinuoase nu este încă precis determinată, trebuie să se spună că lupta cu aceste neajunsuri trebuie dusă chiar în procesul de topire și turnare a oțelului, deoarece oțelul cu defectele arătate mai sus nu poate fi îndreptat prin tratament termic. Călireă poate să mascheze prezența sinuozității, dar acest oțel trebuie supus din nou revenirii la temperatura înaltă, după care sinuozitatea apare în aspectul ei inițial.

#### 14. Incluziuni nemetalice

Incluziunile străine sau nemetalice ale oțelului, sub formă de zguri și materiale refractare, scad foarte mult calitatea metalului. Ele provoacă de multe ori ruperea pieselor în timpul lucrului și constituie una din cauzele de rebut în timpul călirii, deoarece favorizează formarea crăpăturilor.

În fig. 32, se dă fotografia microstructurii oțelului cu incluziuni de zgură.

Incluziunile de zgură rămân în oțel în timpul turnării greșite. Ținerea oțelului un anumit timp în oala de turnare înainte de turnarea



în lingotiere, favorizează îndepărtarea incluziunilor de zgură ce se ridică treptat la suprafață.

Incluziunile sub formă de materiale refractare intră în oțel în diferitele perioade de turnare a oțelului. Incluziunile nemetalice sunt formate din bucăți de cărămidă refractară, etc. Pentru a evita pătrunderea lor în oțel, personalul de deservire trebuie să lucreze corect și curat.

Incluziunile observate la suprafața lingoului se curăță cu ajutorul unei dălți pneumatice.

## 15. Controlul oțelului după macrostructură

Pentru a nu înlătura o cantitate mare de oțel și, odată cu aceasta, pentru a garanta oțelul de prezența diferitelor defecte, se aplică controlul macrostructurii. Prin macrostructură se înțelege structura metalului cercetată fără mărire sau cu mărire mică.

În timpul controlului macrostructurii, se cercetează porozitatea de contracție, licuația zonală, golurile de la suprafață, crăpăturile și alte defecte.

Pentru aceasta, se ia din baia de oțel un lingou și se laminează într'un semifabricat de secțiune patrată sau rotundă. Din acest semifabricat se taie la cald partea superioară (retasura) iar apoi o șaibă care servește pentru controlul macrostructurii.

Câteodată pentru un studiu mai complet al calității oțelului, se mai taie suplimentar șaibe longitudinale, la care suprafața de cercetat coincide cu linia axială a semifabricatului (fig. 33). Alegerea locului de tăiere a acestor șaibe se face pe baza rezultatelor obținute asupra încercărilor șaiabelor transversale.

Studiind macrostructura șaiabelor din lingourile de control, se stabilește procentul de metal îndepărtat pentru restul de lingouri luate din baia de topire.

De obicei șaibe se separă de semifabricate, prin tăiere. În unele cazuri, se permite tăierea prin procedeul autogenic (piese forjate și turnate de dimensiuni mari) sau tăierea șaiabelor la cald cu ajutorul unui fereștrău circular (laminare), dar cu condiția ca metalul în porțiunea tăiată să fie îndepărtat. Șaibe se separă foarte bine prin tăiere mecanică cu anozii. Astfel se permite separarea foarte rapidă a acestora și practic nu se influențează metalul.

Locul de tăiere al șaiabelor este determinat de tendința de a se obține o imagine cât mai completă a calității oțelului. În cazul pieselor forjate în formă cilindrică, cu diametrul până la 500 mm și lungimea

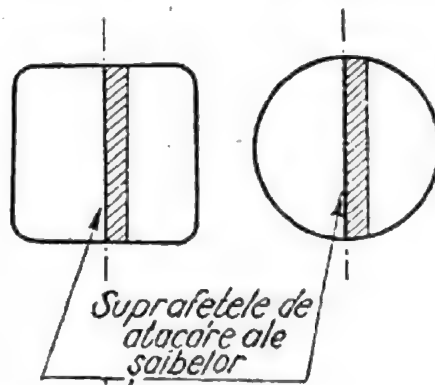


Fig. 33. Schema de tăiere a șaiabelor pentru studiul macrostructurii.



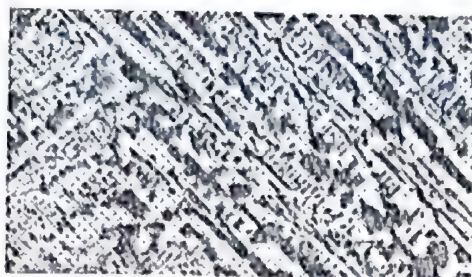


Fig. 19. Microstructura aliajului IV  
(perlita plus cementita).

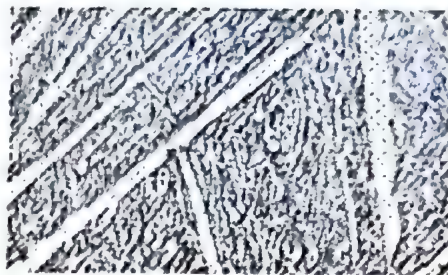


Fig. 20. Microstructura aliajului V  
(perlita plus cementita).

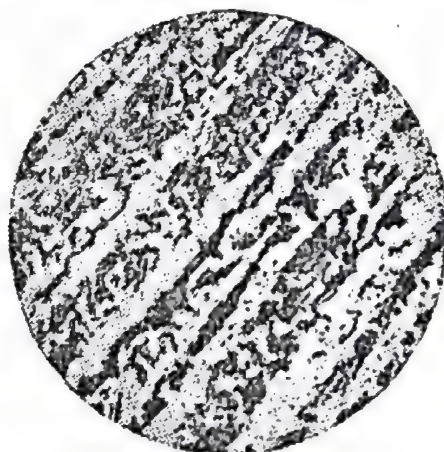


Fig. 28. Structura în dungi a oțelului laminat,  
provocată de segregăția dendritică.

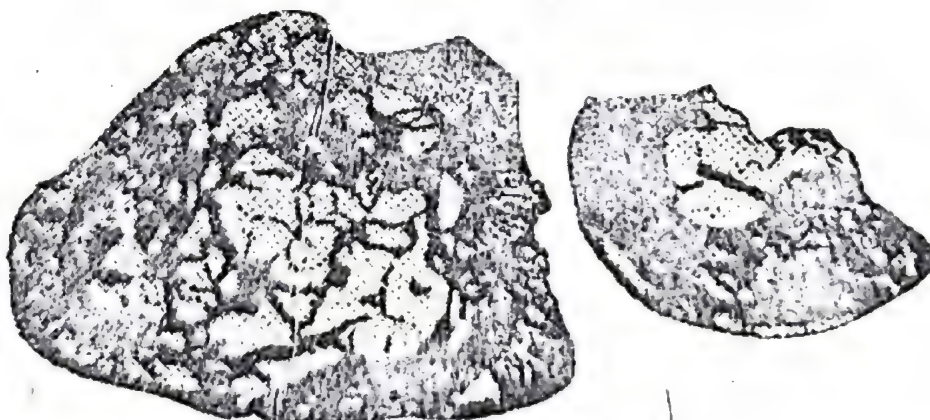


Fig. 29. Fulgi în oțel.





Fig. 31. Ruptura sinuoasă la oțel.

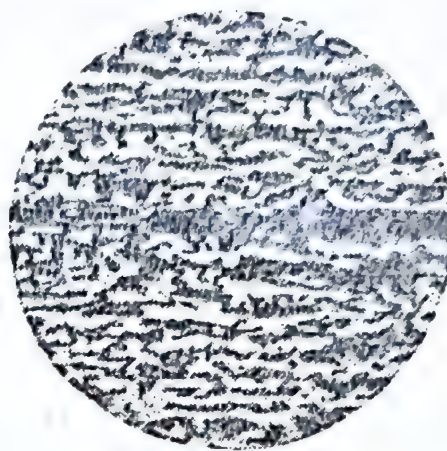


Fig. 32. Incluziuni de zgură, în oțel.

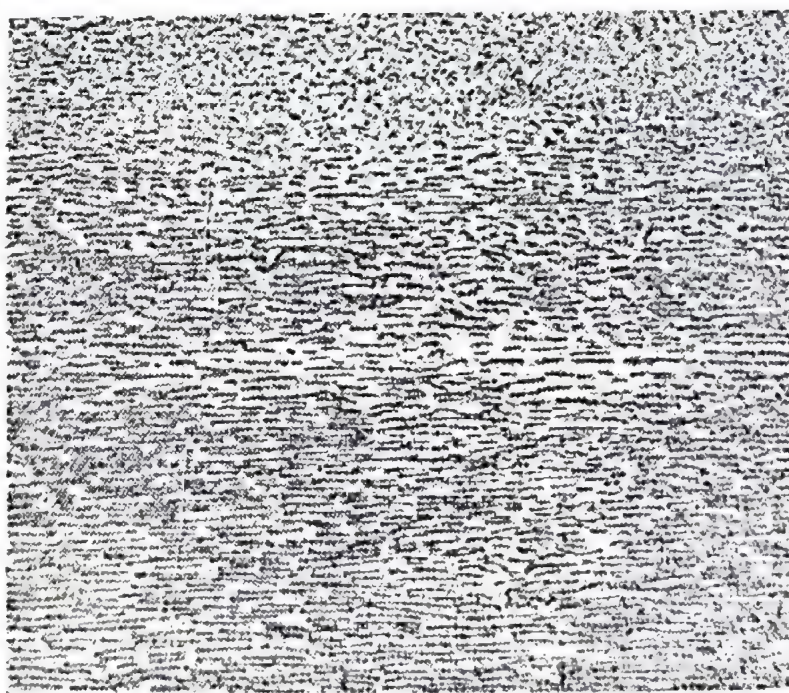


Fig. 34. Macrostructura oțelului laminat, cercetată după atacare cu acid picric.



peste 1 500 mm șaibele se iau în direcție transversală din ambele capete ale piesei forjate.

Dacă piesele au lungimi mai mici, șaibele se iau dela un singur capăt care este mai apropiat de porozitățile retasurilor.

La piesele ștanțate și la cele forjate de mică dimensiune se iau șaibele longitudinale. Suprafața lor trebuie să redea clar structura metalului în locurile principale.

În timpul controlului materialului laminat, șaibele se taie în direcție transversală. Grosimea lor nu trebuie să fie mai mică de 20 mm.

După cercetarea lor se stabilește procentual partea care trebuie eliminată.

Suprafața șaibelor se prelucrează la mașini unelte, se polizează și apoi se supune șlefuirii. Pentru îndepărtarea petelor grase, suprafața se șterge cu benzină. Pentru a pune în evidență defectele oțelului, șaibele se atacă în adâncime și de pe ele se scot amprente pe sulf (proba Baumann).

Atacarea în adâncime se face cu ajutorul unui reactiv special alcătuit din 10 părți acid sulfuric concentrat, 35 părți acid clorhidric și 25 părți apă. Atacarea se face în soluția încălzită până la temperatura de 60—70°C. Temperatura se menține constantă. După atacare, șaibele se spală bine în apă fierbinte și se usucă.

În tabela 2 se dă timpul de atacare al șaibelor cu acest reactiv, după diferite tratamente termice.

Afară de acest reactiv, se mai întrebuințează, pentru atacare, acidul clorhidric sau acidul sulfuric.

Tabela 2

Durata de atacare a șaibelor metalografice

Denumirea materialului	Durata de atacare		
	După recoacere	După călire, cu revenire la temperatură înaltă	După călire, cu revenire la temperatură joasă.
Oțel carbon și slab aliat . . . . .	20 min	40 min	60 min
Oțel aliat mijlociu . . . . .	30 "	50 "	70 "
Oțel înalt aliat . . . . .	45 "	60 "	80 "

Pentru atacare, acidul clorhidric se dizolvă în apă (50%). Procedul de atacare este același ce în primul caz.

Pentru atacare în soluție de 25% acid sulfuric, șaibele se țin în soluție la temperatura de 60°C timp de 2—2,5 ore în cazul oțelului carbon și timp de 2,5—4 ore în cazul oțelului aliat. Dacă se întrebuințează soluția rece, durata de atacare crește până la 10—20 ore.



Câteodată atacarea se repetă după șlefuirea inițială a șaibei cu o hârtie fină de șlefuit.

Structura dentritică și direcția fibrelor în semifabricate forjate, laminate și stanțate, se observă bine la atacare în soluție apoasă de acid picric saturată la rece. Șaibele se introduc pentru 10—15 ore în soluție, apoi se spală, se usucă și se șlefuesc ușor cu o hârtie fină de șlefuit, pentru îndepărtarea petelor de culoare închisă de pe suprafață. Atacarea se repetă până la obținerea unei macrostructuri distincte.

În fig. 34 se dă fotografia macrostructurii oțelului laminat, cercetată după atacare cu acid picric.

Ampretele pe sulf permit să se stabilească felul în care este distribuit sulful în oțel. Acest procedeu constă în aplicarea pe suprafața șaibei a unei hârtii fotografice, mate, cu bromură de argint, care a fost afundată 5—10 minute într-o soluție apoasă de 5% acid sulfuric. Suprafața se prepară prin șlefuire brută; în unele cazuri ea se prelucrează pe mașini unelte. Degresarea se face cu ajutorul alcoolului sau benzinei. După 1—5 minute, hârtia se scoate, se spală în apa rece și se introduce timp de 10 minute într-o soluție de 10% hiposulfid. După fixare, hârtia se spală definitiv în apă rece timp de 10 minute și se usucă.

În urma acțiunii sulfului supra argintului, se formează un precipitat de sulfură de argint, de culoare închisă. Dacă zona de segregatie este îndepărtată complet, distribuția porțiunilor (punctelor) de culoare închisă va fi uniformă.

În fig. 35 se dă amprenta Baumann a oțelului la care zona de licuație nu este îndepărtată complet.

Ampretele Baumann permit să se determine prezența zonelor de licuație și a porozității axiale.

Câteodată ampretele Baumann prezintă culoarea închisă la marginile pieselor. Aceasta se explică prin faptul că la turnarea oțelului în lingotiere, straturile exterioare ale oțelului lichid se răcesc foarte repede; sulful nu are timp suficient să se separe în interior și se separă sub formă de incluziuni mici și dese, care provoacă întunecarea hârtiei cu bromură de argint.

### CAPITOLUL III

## PROPRIETĂȚILE MECANICE

### 16. Incercarea mecanică a metalelor și aliajelor

Incercarea mecanică permite să se determine proprietățile mecanice ale materialelor. Prin proprietăți mecanice se înțeleg însușirile corpurilor solide de a opune rezistență forțelor exterioare care acționează asupra lor. Acțiunea forțelor poate fi diferită: instantanee (dinamică) sau încetă (statică).



Proprietățile mecanice ca: rezistența la rupere prin întindere, limita de proporționalitate, limita de curgere, limita elastică, alungirea relativă, stricțiunea relativă a secțiunii transversale, rezistența la șocuri și duritatea, caracterizează într-o foarte mare măsură calitatea oțelului în raport cu compoziția lui chimică și în general pot indica gradul de comportare al pieselor în mediul în care vor lucra.

Rezistența la rupere, limita de proporționalitate, limita de curgere, limita de elasticitate și duritatea caracterizează rezistența materialului; alungirea și stricțiunea caracterizează plasticitatea, iar rezistența la șocuri caracterizează tenacitatea metalului.

Modificând compoziția chimică a oțelului sau modul de prelucrare (procedeul de turnare, procedeul de prelucrare mecanică la cald, etc.) îi putem schimba în mare măsură și proprietățile mecanice.

Pentru a determina proprietățile mecanice se confecționează niște epruvete (probe) din materialul propus pentru încercare; ele se încearcă până la distrugere (rupere).

Operațiile se fac pe mașini de tracțiune sau pe mașini speciale. Epruvetele pot avea secțiune rotundă sau dreptunghiulară. Pe aceste epruvete se fac creștături pentru a măsura alungirile după încercări.

Există o serie mare de sisteme de mașini pentru încercări la tracțiune. Cea mai larg utilizată este mașina construită de un inginer rus Gagarin, (presa lui Gagarin). Figura 36 prezintă schema unei mașini de tracțiune. Epruveta se prinde între bacurile 1 și 2. Bacul superior este legat de tije 3, 4, 5 și 6, care se ridică prin acționarea pistonului 7 care culisează în cilindrul 8. Intrucât bacul 2 rămâne fix în tot timpul încercării epruvetei, aceasta din urmă se întinde în mod treptat și continuu. Pentru a ușura fixarea epruvetei, mașina este prevăzută cu un mâner 9 care pune în mișcare pinionul conic 10 și prin aceasta deplasează tija 11 și bacul 2. Cunoscând presiunea din cilindrul 8 și secțiunea transversală a pistonului, se poate calcula forța de tracțiune, care acționează asupra epruvetei.

La întinderea epruvetei, lungimea ei inițială  $l_0$  se mărește la  $l$ , creșterea lungimii  $\Delta l$  ( $\Delta$ -delta) va fi:

$$\Delta l = l - l_0$$

Raportul între  $\Delta l$  și lungimea inițială se numește alungirea relativă.

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Alungirea relativă ( $\varepsilon$ ) exprimată în procente se calculează după următoarea formulă:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (1)$$



În timpul încercării la tracțiune, în locul de rupere se produce o stricțiune a secțiunii transversale a epruvetei. Această stricțiune a secțiunii exprimată în procente se determină după următoarea formulă:

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \cdot 100 \quad (2)$$

în care  $\psi$  = stricțiunea epruvetei în locul de rupere exprimată în procente;

$F_0$  = suprafața inițială a secțiunii epruvetei în  $\text{mm}^2$ ;

$F$  = suprafața secțiunii epruvetei în locul de rupere în  $\text{mm}^2$ .

Dacă se întinde epruveta treptat, în secțiunea ei transversală vor lua naștere tensiuni interioare  $\sigma$ . Mărimea acestor tensiuni va fi în orice moment egală cu forța  $P$  (în kg) care produce întinderea, împărțită prin suprafața secțiunii transversale a epruvetei (în  $\text{mm}^2$ ). Cu toate că secțiunea transversală a epruvetei se va micșora sub acțiunea forței de întindere, de obicei pentru determinarea tensiunilor care iau naștere, se ține seama de secțiunea inițială  $F_0$  a epruvetei. Tensiunea interioară se determină după următoarea formulă:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ kg./mm}^2.$$

Dacă forța de întindere nu depășește o valoare determinată, atunci după încetarea acțiunii ei asupra epruvetei, aceasta din urmă revine la dimensiunile ei inițiale.

Proprietatea corpurilor de a-și recăpăta dimensiunile inițiale după înlăturarea forțelor care acționează asupra lor, se numește elasticitatea materialului. Dacă forța de întindere trece peste o anumită limită, epruveta poate rămâne deformată (alungită) chiar și după încetarea acțiunii forțelor exterioare, rămânând cu o deformare permanentă. Tensiunea pe care a suportat-o epruveta până la apariția deformăției permanente, se numește limită de elasticitate. Dat fiind că la calcularea tensiunilor trebuie să avem aparate de mare precizie, se ia ca tensiune minimă admisă în calcule, forța care naște o deformare permanentă în valoare de 0,005% din lungimea inițială a epruvetei. De exemplu, dacă la întinderea epruvetei cu un diametru  $d=10$  mm pentru o forță de 6 280 kg va apărea o deformare permanentă de 0,005%, atunci vom avea:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4 P}{3,14 \cdot 10^2} = \frac{4 \cdot 6\,280}{3,14 \cdot 10^2} = 80 \text{ kg/mm}^2$$

care reprezintă o limită elastică convențională.

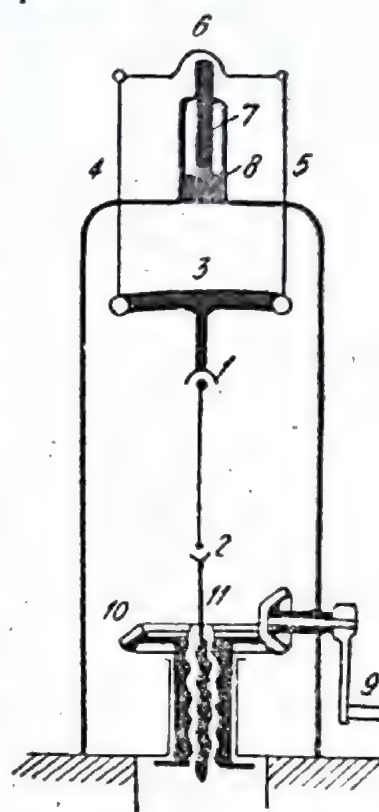


Fig. 36. Reprezentarea schematică a mașinii de tracțiune.



În majoritatea cazurilor în construcțiile de mașini sau de piese pentru mașini se admit eforturile care produc numai deformațiile elastice.

De obicei, mașinile pentru încercări de tracțiune sunt prevăzute cu un dispozitiv care înregistrează automat, sub formă de diagramă, raportul între efortul  $P$  și alungirea  $\Delta l$ . În fig. 37 se arată o astfel de diagramă, obținută la întindere.

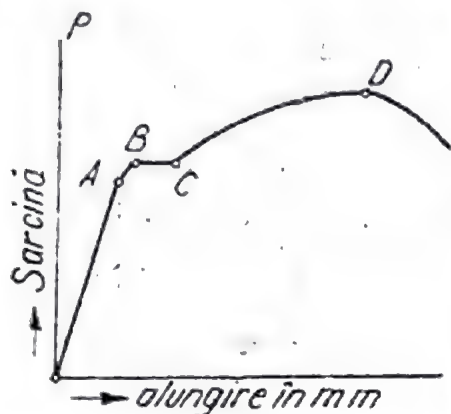


Fig. 37. Diagrama de întindere.

Pe axa ordonatelor se trece forța (sarcina)  $P$ , iar pe axa absciselor — alungirea epruvetei în mm.

Pe diagramă sunt marcate punctele A, B, C, și D.

Până la punctul A, epruveta se alungește foarte puțin, iar raportul între alungire și sarcină se exprimă printr-o linie dreaptă, adică alungirea crește proporțional cu sarcina. De exemplu, dacă sarcina se mărește de două ori, va crește de două ori și alungirea.

Dat fiind că după punctul A linia dreaptă se curbează, iar raportul de proporționalitate între alungire și sarcină se desechilibrează, tensiunea care corespunde punctului A și care se raportează la unitatea de suprafață a secțiunii, poartă denumirea de limită de proporționalitate și se notează astfel:

$$\sigma_p = \frac{\text{Sarcina în kg}}{\text{suprafața secțiunii în mm}^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Intrucât determinarea limitei elastice cere mult timp, iar în cazul oțelului deformațiile rămase după determinarea limitei de proporționalitate sunt neînsemnate, în majoritatea cazurilor nu se determină limita de elasticitate și încercarea se rezumă la determinarea limitei de proporționalitate.

Începând dela punctul B, pe diagrama întinderii apare o porțiune orizontală BC care caracterizează curgerea materialului.

În acest caz alungirea materialului se produce fără creșterea sarcinii, iar la unele materiale curgerea se produce chiar dacă sarcina scade. Tensiunea care corespunde cu momentul în care materialul începe să curgă (când apare porțiunea orizontală BC) împărțită prin suprafața inițială a secțiunii (în mm<sup>2</sup>) se numește limită de curgere și se notează astfel:

$$\sigma_c = \frac{\text{Sarcina în kg}}{\text{suprafața secțiunii în mm}^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)}. \quad (4)$$

Odată cu creșterea sarcinii (dincolo de punctul C), curgerea materialului scade. Alungirea însă crește mai repede decât tensiunea și



pe epruvetă apare o gâtuire (fig. 38), al cărei diametru scade treptat până când se produce ruperea epruvetei. La determinarea forței de rupere, se împarte sarcina care a produs ruperea epruvetei prin suprafața inițială a secțiunii transversale a epruvetei.

Această forță nu corespunde însă cu realitatea, întrucât secțiunea barei s'a micșorat considerabil. Se obișnuiește însă să se utilizeze astfel de calcule pentru ușurința cu care se pot face comparații între materiale.



Fig. 38. Gâtuirea epruvetei.

Sarcina maximă în kg împărțită prin suprafața inițială a secțiunii transversale a epruvetei (în mm<sup>2</sup>) se numește rezistența la rupere și se exprimă prin următoarea formulă:

$$\sigma_r = \frac{\text{sarcina la rupere în kg}}{\text{suprafața secțiunii în mm}^2} \quad (\text{kg/mm}^2). \quad (5)$$

Să luăm un exemplu: să rupem pe o mașină de tracțiune o epruvetă din oțel carbon de diametru 20 mm cu o lungime de 200 mm. Sarcina  $P$  corespunzătoare limitei de proporționalitate (punctul A de pe diagrama de întindere fig. 37) este egală cu 17 584 kg. Sarcina  $P_1$  care corespunde cu limita de curgere (punctul C) este egală cu 17 898 kg și sarcina maximă, înainte de ruperea epruvetei, egală cu 25 748 kg. După rupere, lungimea epruvetei a ajuns la 250 mm, iar diametrul în secțiunea ruperii s'a redus la 15 mm.

Suprafața secțiunii înainte de rupere

$$F_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times 20^2}{4} = 314 \text{ mm}^2$$

Suprafața secțiunii în locul ruperii epruvetei

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \times 15^2}{4} = 176,6 \text{ mm}^2$$

Înlocuind aceste valori în formulele (1), (2), (3), (4), și (5) vom avea:

alungirea

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 = \frac{250 - 200}{200} \times 100 = 25\%;$$

gâtuirea la rupere (stricțiunea)

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F} \times 100 = \frac{314 - 176,6}{314} \times 100 = 43,8\%;$$

limita de proporționalitate

$$\sigma_p = \frac{P}{F_0} = \frac{17\,584}{314} = 56 \text{ kg/mm}^2;$$

limita de curgere

$$\sigma_c = \frac{P_1}{F_0} = \frac{17\,898}{314} = 57 \text{ kg/mm}^2;$$

rezistența la rupere

$$\sigma_r = \frac{P_2}{F_0} = \frac{25\,748}{314} = 82 \text{ kg/mm}^2;$$



Adeseori materialele care rezistă bine la sarcini care cresc progresiv, nu rezistă în aceeași măsură la sarcini aplicate prin șoc.

Din această cauză, paralel cu încercările în timpul cărora sarcina crește progresiv, se fac și încercări la șoc.

Pentru încercarea rezistenței materialelor la șocuri (la eforturi dinamice), se folosesc diferite feluri de epruvete. Cele mai utilizate sunt epruvetele Charpy (fig. 39 *a* și *b*) și epruveta Mesnager (fig. 39 *c*). Prin încercarea acestor epruvete simple putem determina cu o pre-

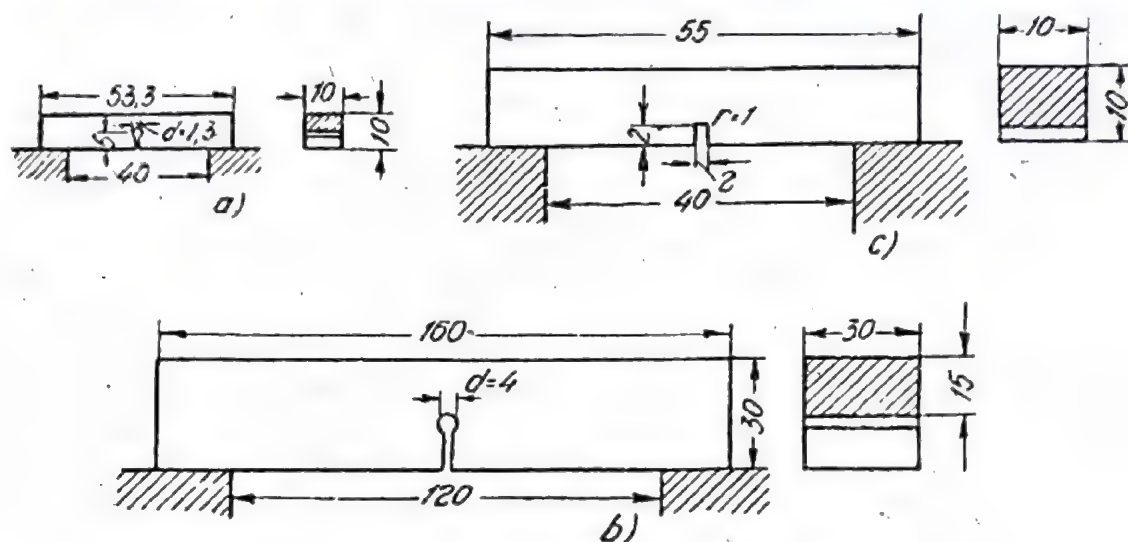


Fig. 39. Epruveta pentru încercarea materialului la șoc:  
*a* — epruveta mică Charpy; *b* — epruveta mare Charpy; *c* — epruveta Mesnager.

cizie mare rezistența materialelor. Rezultatele reale ale încercărilor la șoc, depind în mare măsură de exactitatea cu care sunt executate epruvetele și în special depind de exactitatea creștăturilor.

Încercarea epruvetelor crestate se face de obicei pe mașini speciale cu un berbec pendular. Există mai multe feluri de astfel de mașini, din care cea mai răspândită este prezentată de fig. 40.

Această mașină se compune dintr'un berbec prevăzut cu un disc greu, care pendulează în jurul axei orizontale. Acest berbec poate fi ridicat la o înălțime de 1—1,2 m și fixat în această poziție cu ajutorul unui clichet (limbă de fixare).

Dacă clichetul se ridică, discul va cădea și muchia lui de oțel, va rupe epruveta așezată pe cale de sprijin. Acest reazim pendular se poate îndepărta sau apropia, ceea ce permite așezarea epruvetelor de mărimi diferite. După ruperea epruvetei discul se ridică în sus în virtutea inerției.

Înălțimea până la care se ridică discul indică forța vie care a rămas acumulată în disc după ruperea epruvetei. Lucrul mecanic  $T$ , consumat la ridicarea discului de greutate  $P$  kg la o înălțime anumită  $A$  (în metri), se consumă la ruperea epruvetei și la ridicarea dis-



cului la o înălțime oarecare  $B$ . Să notăm cu  $T_1$  lucrul mecanic consumat la ruperea epruvetei și cu  $T_2$  lucrul mecanic consumat la ridicarea discului după ruperea epruvetei. Atunci

$$T = P \cdot A \text{ kg m și}$$

$$T_2 = P \cdot B \text{ kg m}$$

De aici rezultă că:

$$T_1 = T - T_2 = PA - PB = P (A - B)$$

Cunoscând greutatea discului și înălțimea la care a fost ridicat și măsurând înălțimea la care a fost ridicat după ruperea epruvetei, este ușor să se găsească lucrul mecanic  $T$ , utilizat la ruperea epruvetei.

Împărțind acest lucru mecanic prin suprafața secțiunii epruvetei în locul creștăturii (în  $\text{cm}^2$ ) vom obține valoarea lucrului mecanic pe  $1 \text{ cm}^2$  de secțiune a epruvetei. Acest lucru mecanic exprimat în  $\text{kgm/cm}^2$ , caracterizează rezistența epruvetelor la eforturi dinamice (reziliența).

Pentru a stabili calitatea materialului după proprietățile sale mecanice, trebuie să cunoaștem felul în care s'au confecționat epruvetele.

Proprietățile mecanice ale epruvetelor depind în mare măsură de direcția după care au fost decupate. Se utilizează epruvete tăiate din material în direcția longitudinală sau transversală. Cele decupate în direcția longitudinală a materialului au cele mai bune calități mecanice, întrucât fibrele oțelului (cristalele întinse) sunt dispuse pe direcția axei epruvetei.

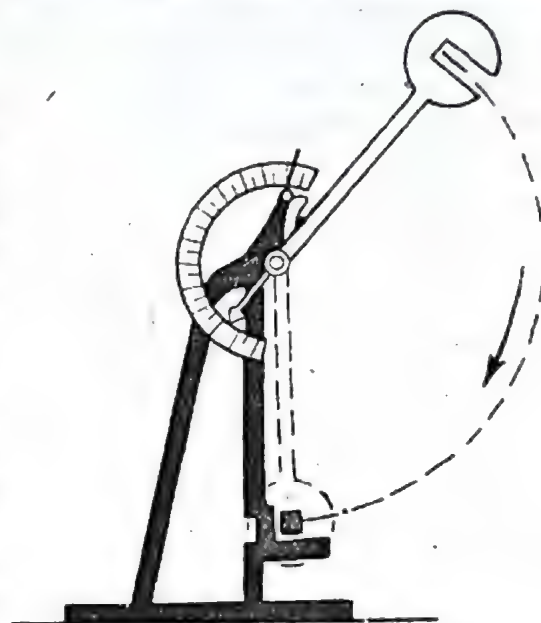


Fig. 40. Schema stativului pentru proba la lovire.

## 17. Încercarea durității

Prin duritatea unui corp se înțelege proprietatea de a opune o rezistență la pătrunderea altui corp în el.

În industrie cele mai răspândite metode de încercarea durității sunt metodele Brinell și Rockwell.

Principiul încercării după Brinell constă în apăsarea unei bile (de 10,5, sau 2,5 mm diametru) din oțel extra tare pe suprafața materialului pe care-l încercăm, sub acțiunea unei sarcini date (de 3 000, 1 000, 500 sau 250 kg) care se menține timp de 20—30 s. În cazul pieselor subțiri sau relativ moi, pentru a se evita perforarea lor, se utilizează bile cu diametrul mai mic și se lucrează cu o sarcină mai mică.



În fig. 41, este arătată schema procedeului Brinell. În timpul funcționării se închide ieșirea uleiului din cilindrul 1 și astfel piesa (sau epruveta) aflată pe suportul 5 se presează cu ajutorul roții de manevră 6 în direcția bilei 4. După aceasta, în cilindrul 1 se pompează ulei până ce presiunea din cilindru 1 va ridica pistonul 3 cu greutatea 2.

În acest moment, bila apasă pe suprafața materialului de încercat cu un efort egal cu acela sub care se găsește pistonul 3. Manometrul arată presiunea bilei asupra piesei. În timpul încercării uleiul se pompează încet în cilindru 1. După terminarea operației supapa se deschide treptat pentru ca greutatea 2 să nu cadă brusc.

După îndepărtarea piesei, pe suprafața acesteia rămâne o amprentă în formă de calotă sferică de dimensiune anumită în funcție de calitatea și starea materialului de încercat. Duritatea se determină din raportul între presiune (în kg) și dimensiunile amprentei lăsată de bilă (în  $\text{mm}^2$ ).

Acest raport se numește cifra de duritate Brinell.

Pentru a nu măsura și calcula de fiecare dată suprafața calotei imprimate pe materialul de încercat, s'au întocmit tabele speciale care fac parte din inventarul mașinei Brinell, cu ajutorul cărora putem citi direct duritatea materialului exprimată în cifra Brinell în funcție de diametrul amprentei.

În anexa IV sunt trecute cifrele de duritate Brinell, obținute cu o bilă de  $\varnothing 10 \text{ mm}$  și cu o sarcină de 3000 kg.

Suprafața piesei, care se încearcă trebuie să fie polizată și apoi șlefuită bine cu hârtie fină de șmirghel.

Pentru a înlătura influența stratului decarburat, suprafața piesei trebuie curățată pe o adâncime suficientă. Măsurarea amprentei se face cu o lentilă

specială (comparator) care mărește de 2—5 ori și este prevăzută cu o scară de diviziuni.

Neajunsul mare al metodei Brinell este faptul că dă rezultate exacte numai până la cifra de duritate 540. În cazul durităților mai mari, bila începe să se turtească și deaceia datele vor fi eronate în minus. Deobicei bila care cu timpul se uzează, se înlocuiește în mod periodic.

Metoda Brinell nu poate fi aplicată în cazul pieselor cu un strat de cementație subțire, pentru că stratul cementat va fi străpuns și

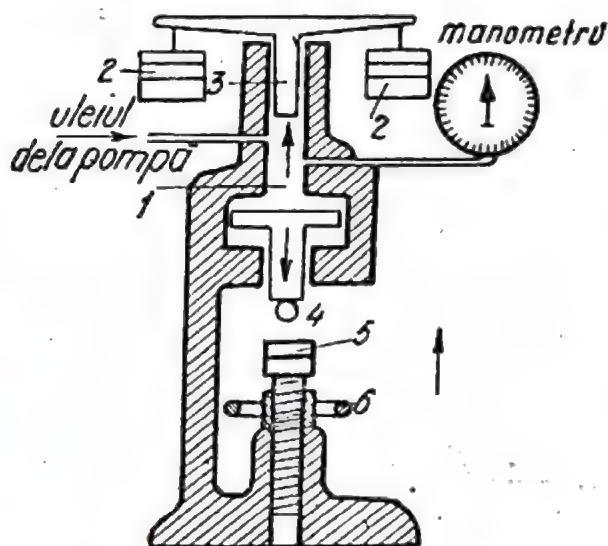


Fig. 41. Reprezentarea schematică a aparatului Brinell.



datele obținute vor fi mai mici decât cele pe care le are în realitate suprafața piesei.

Deasemenea pe aparatul Brinell nu putem încerca duritatea pieselor subțiri, afară de cele arătate, metoda Brinell cere și măsurarea diametrului amprente, fapt care mărește durata procesului de încercare.

Toate aceste neajunsuri se îndepărtează în cazul determinării durității după metoda Rockwell, care se utilizează în mod curent în ateliere.

Metoda Rockwell diferă de metoda Brinell prin faptul că în loc de suprafață, se măsoară, adâncimea amprente.

În prezent uzinele U.R.S.S. fabrică durometre (fig. 42) care funcționează după principiul Rockwell. Acest aparat permite determinarea durității la piese mici și subțiri și în același timp nu reclamă o pregătire minuțioasă a suprafeței.

Valorile durității exprimate în cifra Rockwell apar pe un cadran. Astfel se elimină operația anevoiasă de a măsura cu lupa diametrele amprentelor.

Un cadran servește în timpul încercărilor cu bila de oțel de diametru 1,6 mm, iar al doilea cadran arată cifrele de duritate în cazul când se lucrează cu un diamant conic. Cu ajutorul bilei se încearcă oțelurile moi, iar cu diamantul conic cele dure. Înainte de încercare, piesele se curăță de sgură și se șlefuesc cu o hârtie de șmirghel.

Există și alte metode pentru încercarea durității însă ele nu au o utilizare largă și practică și deaceia nu vor fi descrise în această carte.

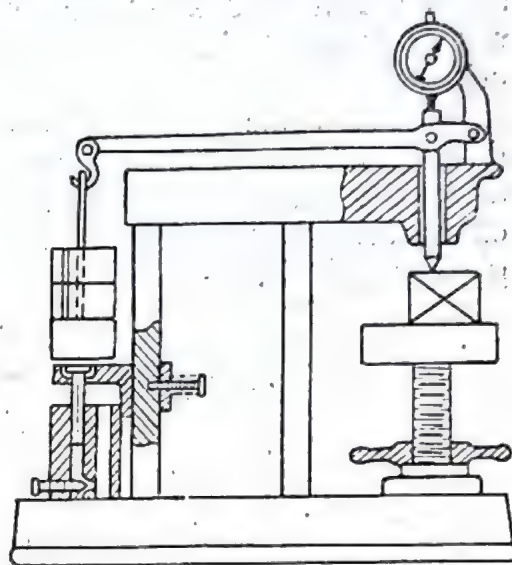


Fig. 42. Reprezentarea schematică a dispozitivului pentru măsurarea durității.

#### CAPITOLUL IV

### RECOACEREA OȚELULUI

Procesul de încălzirea oțelului deasupra punctului  $Ac_1$ , urmată de răcirea încetă se numește recoacere. Deseori, încălzirea oțelului sub punctul  $Ac_1$  se numește deasemenea recoacere, cu toate că ar fi mai corect să se numească revenire la temperatură ridicată. Există recoacere completă și recoacere incompletă.

Recoacerea completă se numește recoacerea oțelului deasupra punctului critic superior ( $Ac_3$  pentru oțel hipoeutectoid și  $Ac_{c1}$  pentru oțel hipereutectoid).



Recoacerea incompletă se numește recoacerea în intervalul critic (între  $Ac_1$  și  $Ac_3$ ).

Recoacerea completă sau justă a oțelului hipoeutectoid se face încălzind oțelul cu 30—50°C deasupra punctului critic superior. Această recoacere duce la o structură granulară fină, vizibilă atât la microscop, cât și în spărtură. Spărtura va avea granule cu atât mai mărunte, cu cât oțelul se va răci mai repede la trecerea prin intervalul critic.

Dacă cementita din oțelul hipereutectoid are structura sub formă de ace sau se distribuie sub formă de rețea, oțelul trebuie forjat, iar acele și rețeaua de cementită trebuie sparte, sau oțelul se supune călirii urmată de revenire la temperatură ridicată. Dacă cementita se găsește sub formă de granule, oțelul nu se supune recoacerii.

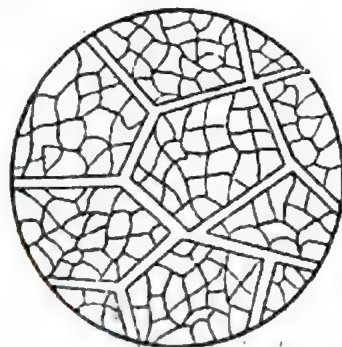
Recoacerea cu supraîncălzire, adică cu încălzirea deasupra punctului critic superior, se aplică câteodată pentru obținerea metalelor monocristaline.

Pentru a afla ce fenomene au loc în timpul recoacerii, se urmărește încălzirea oțelului hipoeutectoid, care este format din perlită și ferită (fig. 43 și fig. 44). La prima vedere se pare că după încălzirea și răcirea acestui oțel nu are loc nici o transformare și se obține din nou perlita și ferita. În realitate acest lucru nu se întâmplă, deoarece în timpul încălzirii oțelului are loc schimbarea mărimii granulelor.

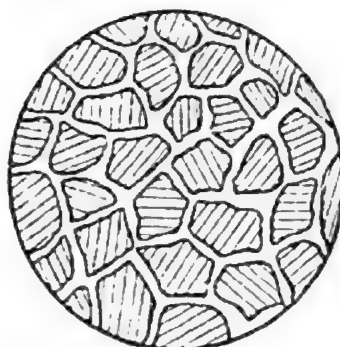
La trecerea prin punctul  $Ac_1$ , în interiorul granulelor vechi se nasc granule noi (fig. 45, a), care încep să crească în timpul încălzirii.



Fig. 43. Representarea schematică a feritei și perlitei.



a



b

Fig. 45. Representarea schematică:

a — ferită și soluție solidă deasupra punctului  $Ac_1$ ;  
b — ferită și perlita.

În punctul  $Ac_3$ , ferita din granulele vechi se disolvă definitiv și rămân o serie de granule mici de soluție solidă. După răcirea înceată corespunzătoare, se obțin granule mici de perlita în interior separate



prin benzi de ferită pe margini (fig. 45 b și fig. 46). În oțelul eutectoid și oțelul hipereutectoid mecanismul de transformarea granulelor va fi același ca și în oțelul hipoeutectoid.

Prin recoacere se caută să se obțină următoarele:

1. Se înmoaie oțelul pentru o prelucrare mai ușoară la mașini unelte;

2. Se obțin granule fine și se ridică proprietățile mecanice;

3. Se îndepărtează tensiunile interne provocate în timpul prelucrării mecanice la cald.

4. Se îndepărtează deformarea granulelor după prelucrarea mecanică la rece (laminarea la rece, broșarea, trefilarea).

Oțelul turnat este constituit din granule mari care îi scad proprietățile mecanice. Acest oțel trebuie supus neapărat tratamentului termic, recoacerii.

Același lucru se poate spune și despre turnarea pieselor de oțel fasonate, care se supun recoacerii pentru a li se îmbunătăți proprietățile mecanice, prin transformarea granulelor mari în granule mici, cum și pentru a îndepărta tensiunile nedorite și a face oțelul mai puțin dur.

Prelucrarea mecanică la cald prin presare care a fost executată contrar instrucțiunilor, de exemplu, forjarea, laminarea, stanțarea poate fi însoțită de mărirea dimensiunilor granulelor și de apariția tensiunilor interne nedorite. Aceste fenomene nedorite pot fi eliminate printr-o recoacere corectă.

În funcție de condițiile cerute oțelului, se schimbă și condițiile recoacerii.

## 18. Condițiile recoacerii

Asupra rezultatelor recoacerii influențează următorii factori: viteza de încălzire, temperatura de încălzire, timpul de menținere la temperatură și viteza de răcire.

Viteza de încălzire depinde de compoziția chimică a oțelului și de dimensiunile pieselor sau barelor. Oțelurile aliate, cu conductibilitate termică mică; piesele mari și cele de formă complicată necesită o încălzire înceată.

Timpul de menținere la temperatură prescrisă în cazul recoacerii trebuie să fie astfel, încât piesele să se încălzească la aceeași temperatură în toată secțiunea și să aibă timp suficient pentru toate transformările în structura oțelului. Pe de altă parte, timpul prea îndelungat de menținere la temperatura prescrisă poate duce la formarea granulelor mari. Asupra duratei de menținere la temperatură influențează greutatea pieselor sau barelor de oțel ce se încarcă, structura inițială, compoziția oțelului și temperatura de încălzire. Cu cât obiectul este de dimensiuni mai mari și cu cât încărcarea este mai mare, cu atât durata de menținere a oțelului în cuptor este mai mare. Perlita gra-



nulară necesită o durată mai mare de menținere la temperatură pentru trecerea cementitei în soluția solidă, decât perlita lamelară. Din această cauză, dacă oțelul conține cementita sub formă de granule, timpul de menținere crește. Cu cât temperatura de încălzire este mai ridicată, cu atât transformările structurale ale oțelului au loc mai repede și cu atât timpul de menținere este mai scurt.

Am arătat mai înainte că la încălzirea până la punctul  $Ac_3$  se formează granule mici noi. Dacă încălzirea se face deasupra punctului  $Ac_3$ , aceste granule la început își măresc dimensiunea proporțional cu ridicarea temperaturii, apoi proporționalitatea se distruge și granulele cresc mai repede decât temperatura. Pe fig. 47 se dă curba de schimbarea mărimii granulei în funcție de temperatura de încălzire.

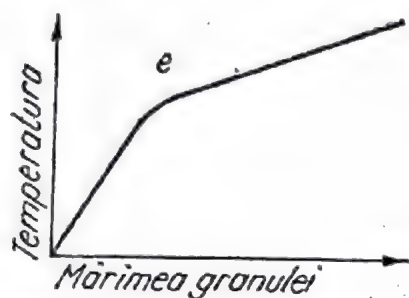


Fig. 47. Curba relației dintre mărimea granulei și temperatură. Limita periculoasă (punctul „e”) se găsește în cazul oțelurilor de duritate medie la temperatura de circa  $1000^{\circ}\text{C}$ , iar în cazul oțelului moale la temperatura de circa  $1100^{\circ}\text{C}$ .

Recoacerea corectă normală constă în încălzirea oțelului cu  $30-50^{\circ}\text{C}$  deasupra punctului  $Ac_3$ , urmată de răcire înceată.

În tabela 3, se dau temperaturile de recoacere ale oțelului cu conținut diferit de carbon (prof. Nesselstrauß G. Z.).

Tabela 3

Temperatura de recoacere a oțelului carbon

Conținutul de carbon	Temperatura punctului critic superior ( $Ac_3$ ), $^{\circ}\text{C}$	Temperatura de recoacere $^{\circ}\text{C}$
0,0	900	900–910
0,2	820	840–860
0,4	765	785–810
0,6	750	770–795
0,8	735	760–785
0,9	720	750–775
1,0	—	750–775
1,2	—	750–775

Din datele arătate în tabelă se vede că temperatura de recoacere scade cu ridicarea conținutului de carbon.

Ridicarea temperaturii de recoacere influențează nefavorabil proprietățile mecanice ale oțelului. Acest lucru se poate vedea din tabela 4.



Cele mai bune proprietăți mecanice ale oțelului se obțin după o recoacere la temperatura de 850°C. Dacă se ridică temperatura, rezistența la rupere și limita elastică cresc, în timp ce alungirea, contracția și reziliența scad brusc.

Tabela 4

Influența recoacerii asupra proprietăților mecanice ale oțelului carbon cu 0,45% carbon

Recoacerea 1		Recoacerea 2		Recoacerea 3		Rezistența la rupere în kg/mm <sup>2</sup>	Limita elastică în kg/mm <sup>2</sup>	Alungirea, în %	Contracția, în %	Reziliența, kgm/cm <sup>2</sup>
Temperatura °C	Timpul de menținere în minute	Temperatura °C	Timpul de menținere în minute	Temperatura °C	Timpul de menținere în minute					
820	30	—	—	—	—	42	64	23	62	10
820	60	—	—	—	—	43	66	22	60	9
820	90	—	—	—	—	43,5	68	21	58	8,5
820	120	—	—	—	—	44,5	70	19	57	8
820	120	820	30	—	—	42	65	22,5	61	10
900	30	—	—	—	—	41	68	20	57	9
900	60	—	—	—	—	42	69	19	56	8
900	90	—	—	—	—	42,5	71	18,5	55	7,5
900	120	—	—	—	—	43	74	18	54	7
950	30	—	—	—	—	43	75	19	56	7,5
950	60	—	—	—	—	42,5	74	18	54	7
950	90	—	—	—	—	42	74	17	53	6,5
950	120	—	—	—	—	42	73	16	52	6
1000	30	—	—	—	—	44	76	18	52	7
1000	60	—	—	—	—	43	75	17	50	6,5
1000	90	—	—	—	—	42,5	74	16	48	6
1000	120	—	—	—	—	42	72	15	46	5,5
1000	120	820	30	—	—	42	68	20	58	9
1100	30	—	—	—	—	44	77	15	45	6,5
1100	60	—	—	—	—	44	75	14	44	6
1100	90	—	—	—	—	43	70	13	42	5,5
1100	90	820	30	—	—	43	70	18	55	8
1100	90	820	30	820	30	42	64	22,5	62	9,5

Influența temperaturii de încălzire asupra microstructurii oțelului se arată în fotografiile din fig. 48. La o temperatură de încălzire prea ridicată, granulele cresc foarte mult, oțelul devine foarte fragil și apare așa numita structură Widmandstädter (fig. 49), în care ferita se separă sub formă de lamele paralele.



Oțelul supraîncălzit se poate îndrepta printr'o nouă recoacere executată în condiții corecte. Câteodată, această corijare se poate face numai printr'o recoacere dublă. În tabela 5 se dau proprietățile oțelului supraîncălzit, după o recoacere repetată în condiții corecte.

Tabela 5.

Influența recoacerii asupra oțelului supraîncălzit (oțel cu 0,45% C).

Starea oțelului	Rezistența la rupere kg/mm <sup>2</sup>	Limita de scurgere kg/mm <sup>2</sup>	Alungirea în %	Con- tracția în %	Reziliența în kg/cm <sup>2</sup>
Oțel supraîncălzit . . .	48	73	10	35	5
Oțel după prima recoacere	43	70	18	55	8
Oțel după a doua recoacere	42	64	22,5	62	9,5

Dacă prin aplicarea recoacerii duble, calitatea oțelului nu se îmbunătățește, temperatura în timpul primei recoaceri trebuie ridicată cu 100—150 °C deasupra punctului critic superior, după care oțelul trebuie supus recoacerii normale. Prima recoacere la temperatura ridicată favorizează egalizarea rapidă a structurii în toată secțiunea, iar a doua recoacere — micșorează granulele oțelului.

Dacă recoacerea se execută până la incandescență, indicată culoarea galbenă sau albă (oțelul începe să producă scântei), pe marginile granulelor se răspândește oxigenul; fierul se va oxida și produsele de oxidare se vor depune la marginile granulelor. Acest oțel recopt la temperatură prea ridicată (suprarecopt) are proprietăți mecanice proaste, care nu se mai pot îndrepta și materialul se rebutează.

Este interesant de remarcat faptul că oțelul solidificat în lingotiere sau forme nu prezintă caracteristicile fenomenului recoacerii la temperatura prea ridicată, cu toate că acest oțel trece prin intervalul temperaturilor ridicate. Unii specialiști explică aceasta prin faptul că la răcirea oțelului are loc o degajare intensă de hidrogen, care împiedică pătrunderea oxigenului din aer în oțel.

În fig. 50 se prezintă microfotografia oțelului încălzit la o temperatură prea ridicată, (suprarecopt), cu protoxid de fier format la marginile granulelor.

## 19. Influența vitezei de răcire asupra structurii oțelului

După recoacere piesele se răcesc fie încet (afară din cuptor), fie foarte încet într'un cuptor închis de preîncălzire.

Încălzirea oțelului cu 30—50 °C peste punctul critic  $A_{c3}$  urmată de răcire la aer, se numește normalizare. În timpul normalizării oțelului,



structura devine mai omogenă și în același timp proprietățile mecanice se îmbunătățesc. Din cauză că la răcirea în aer a oțelurilor aliate și a oțelurilor carbon conținând peste 0,45 % carbon, apar tensiuni remarcabile și crește duritatea, aceste oțeluri, după normalizare, se supun revenirii la temperatură ridicată (550—680 °C).

Oțelurile aliate cu conținut mediu de carbon, conținând siliciu până la 1,5 %, sau nichel până la 3 %, sau crom până la 1 % se răcesc în cuptor închis, cu viteza de maximum 50—70 °C/h.

Oțelurile de crom și nichel și oțelurile cu crom, nichel și molibden se răcesc până la temperatura de 400—300 °C, cu iuțeala de 10—30 °C/h, în funcție de conținutul de carbon și de celelalte elemente de aliere.

În funcție de viteza de răcire, austenita, se descompune formând componenți cu structură diferită. Proprietățile mecanice ale oțelului recopt depind de gradul de finețe al componenților structurali.

Perlita se poate deosebi după mărimea granulelor de ferită și cementită (fig. 51). În fig. 51, *a*, se reprezintă în mod schematic perlita constituită din lamele mici, iar în fig. 51, *b*, perlita constituită din lamele mari. În fig. 52 se dă microfotografia perlitei cu lamele mici, în oțel cu 0,83 % C. (Baboșin A. L.). Cu cât răcirea se face mai repede, cu atât componenții structurali sunt constituiți din granule mai mici și cu atât elasticitatea și rezistența oțelului este mai ridicată. În timpul răcirii prea încete, la trecerea prin punctul  $A_{r1}$ , se poate forma perlita granulară (fig. 51, *c*) care coboară elasticitatea, rezistența și duritatea oțelului.

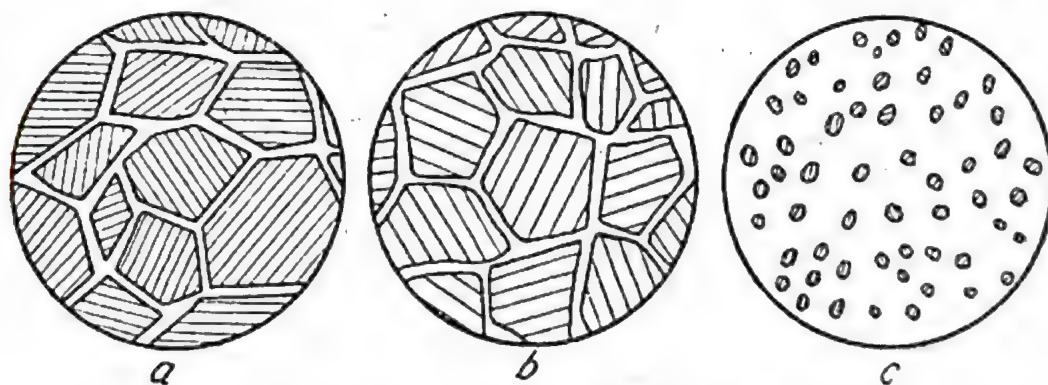


Fig. 51. Reprezentarea schematică a separării perlitei:

*a* — perlită lamelară cu lamele mici; *b* — perlită lamelară cu lamele mari; *c* — perlită granulară.

Separarea feritei depinde și de viteza de răcire în așa numitul interval critic, când se separă ferita din soluția solidă. Cu cât oțelul se va răci mai repede în intervalul critic, cu atât granulele de ferită separată vor fi mai mici.

Dacă oțelul se răcește foarte încet, în acest interval (0,5 °C pe minut) apare ferita sub formă de grămezi (fig. 53). Oțelul în această stare are tensiune și rezistență mică.



Pentru obținerea perlitului granular, în oțeluri eutectoide și hiper-eutectoide, oțelul se încălzește ceva mai sus de punctul critic  $Ac_1$ , se menține la această temperatură și se răcește încet la trecerea prin punctul critic  $Ar_1$ . În timpul acestui tratament, lamelele de cementită iau formă granulară.

Din cele expuse mai sus se vede că starea componentelor structurale ai oțelului și prin urmare și proprietățile mecanice ale oțelului depind de viteza de răcire în intervalul critic al temperaturilor. De exemplu, pentru a ridica elasticitatea și rezistența oțelului, trebuie trecut repede intervalul critic și punct  $Ar_1$ , în timpul ce pentru a-l înmuia, răcirea trebuie executată încet, în acest interval. Prin urmare, viteza de răcire trebuie aleasă în funcție de condițiile care se cer oțelului.

Forma în care se separă cementita (fig. 54) în oțelul hipereutectoid depinde deasemenea de viteza de răcire în timpul separării ei din soluția solidă. Cementita se va separa sub formă de ace (fig. 54, a) și sub formă de rețea de cementită (fig. 54, b) la răcire repede. În cazul răcirii foarte încete, cementita se poate descompune cu formare de carbon sub formă de grafit. Afară de aceasta, cementita se găsește deseori în oțel sub formă de granule (fig. 54, c).

După tratarea metalului cu un decapant special (soluție de picrat de sodiu la temperatura de fierbere) se observă în timpul examinării oțelului la microscop (fig. 55) cementită închisă la culoare pe când celelalte structuri rămân deschise la culoare.

La alegerea vitezei de răcire se ia în considerație că unele calități de oțel pot deveni fragile în timpul răcirii încete, sub punctul  $Ar_1$ .

## 20. Recoacerea pieselor turnate

Oțelul turnat sub formă de piese fasonate are proprietăți mecanice inferioare. Aceasta se datorește dimensiunilor mari ale granulelor din oțelul turnat. Afară de aceasta, oțelul pieselor turnate are tensiuni mari, care nu numai că scoboară rezistența pieselor, dar cu timpul, duc la schimbarea dimensiunilor.

Recoacerea pieselor turnate din oțel, în comparație cu recoacerea materialului laminat la cald, prezintă particularitatea că timpul de menținere la temperatura maximă [ $Ac_3 + (30-40^\circ\text{C})$ ] este de 1,5—2 mai mare și, înafară de aceasta, piesele turnate se răcesc cu viteza de  $80-120^\circ\text{C/h}$ , în timp ce oțelul carbon laminat la cald se răcește cu viteza de  $100-200^\circ\text{C/h}$ . Piesele turnate de mare importanță se încălzesc în prealabil la temperatura de  $950-1000^\circ\text{C}$ , apoi se supun normalizării (recoacerii urmată de răcire în aer).

De multe ori lingourile din oțel special și piesele importante se supun unei încălziri îndelungate la temperatură ridicată. Această încălzire are drept scop micșorarea neomogenității oțelului în ceea ce



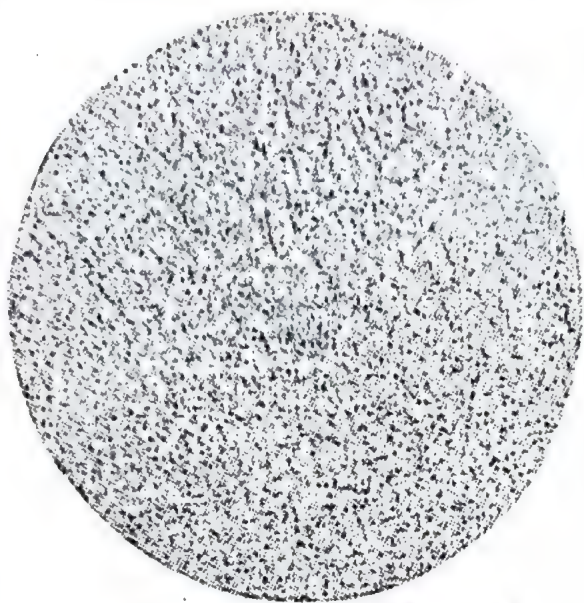


Fig. 35. Amprentă pe sulf. În centru este regiunea care prezintă fenomenul licației.

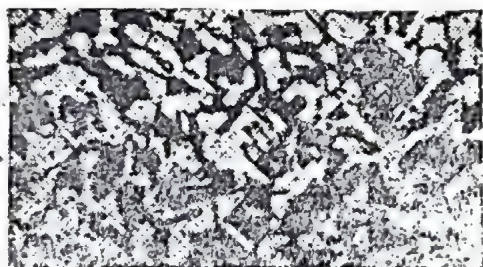


Fig. 44. Microstructura oțelului în stare inițială. (Perlita plus ferita).

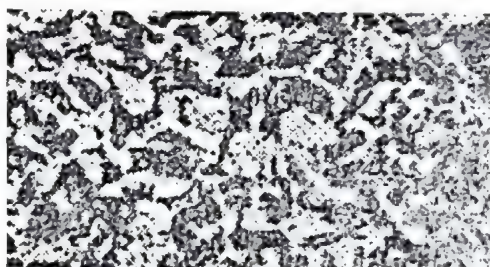
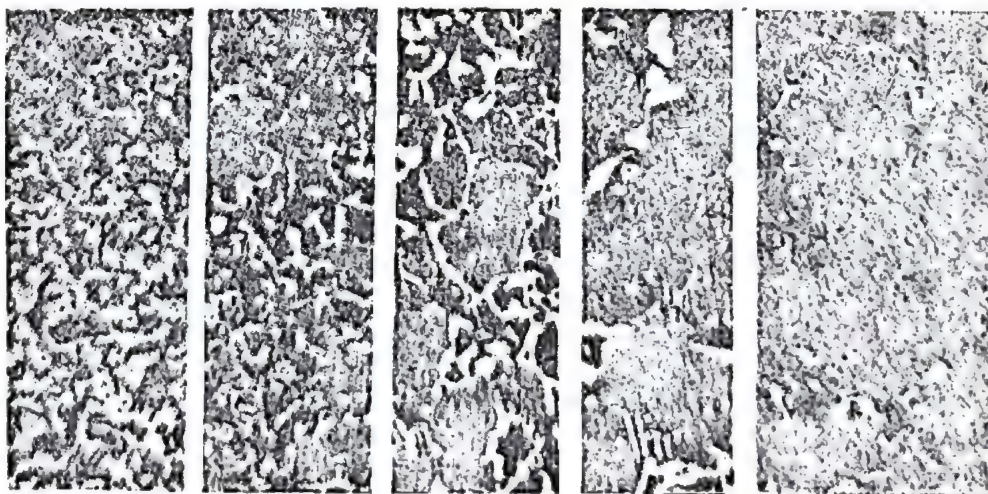


Fig. 46. Microstructura oțelului cu 0,38% C, după încălzire cu 30 °C deasupra punctului  $A_{c3}$  și după răcire în aer.



*a* *b* *c* *d* *e*

Fig. 48. Influența temperaturii de normalizare asupra microstructurii oțelului:  
 $a = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $b = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $c = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $d = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $e = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .





Fig. 49. Structura Widmanstätter a oțelului cu 0.40% Carbon.

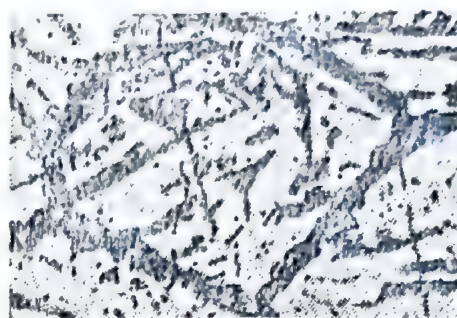


Fig. 50. Oțel suprarecopt.

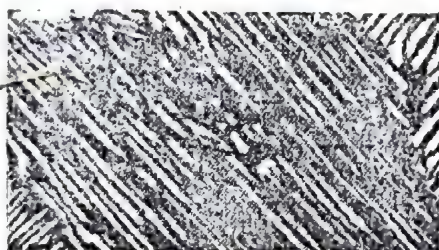


Fig. 52. Perlită sub formă de lamele mici.



Fig. 53. Ingrămădiri de ferită.

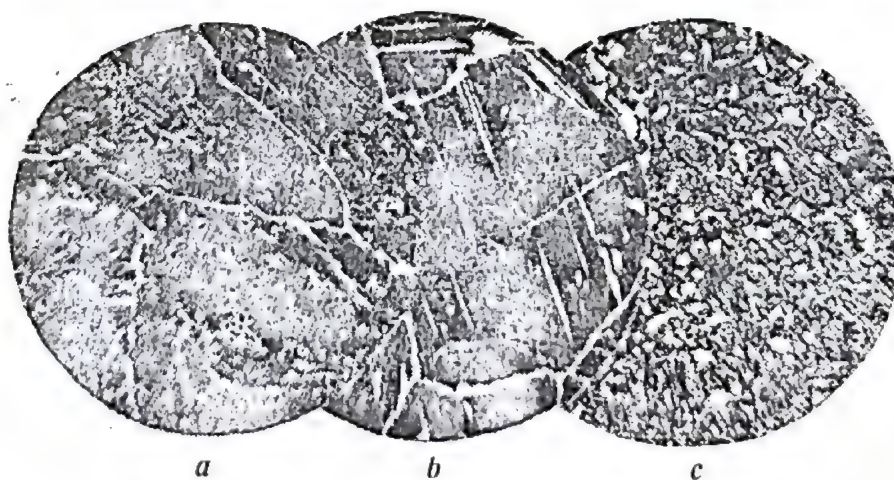


Fig. 54. Microstructura oțelului hipereutectoid. (Perlita plus cementita):

*a* — sub formă de rețea ; *b* — sub formă de rețea și ace ; *c* — sub formă de granule.



privește compoziția chimică și se numește recoacere de difuziune. Pentru aceasta oțelul se încălzește încet până la temperatura 1 100—1 150 °C, se menține la această temperatură timp de 10—15 ore și se răcește până la 200—250 °C cu viteza de 80—100 °C/h. Dacă recoacerea se face înainte de încălzirea în vederea laminării sau forjării, granulele mari, care se formează în timpul încălzirii îndelungate și la temperatură ridicată, nu prezintă importanță. Pentru eliminarea tensiunilor după recoacere la temperatură ridicată, se face revenirea la temperatura de 650—680 °C.

## 21. Recoacerea rapidă a oțelului

În prezent, viteza de încălzire a oțelului este mult mărită, fără a se micșora calitățile lui. Pentru calculul duratei de încălzire a semifabricatelor cu diametru până la 150 mm, dela 0 °C până la 850 °C, se recomandă, să se încălzească obiectul uniform din toate părțile și să se utilizeze formula lui N. N. Dobrohotov:

$$z = k \cdot D^{1,5}$$

unde  $z$  = timpul de încălzire, în ore;

$D$  = diametrul piesei, în m;

$k$  = coeficientul, care în cazul încălzirii piesei din toate părțile este pentru carbon egal cu 5, iar pentru oțel aliat cu 13,3. Dacă încălzirea se face numai din două părți,  $z$  trebuie înmulțit cu 2, iar dacă încălzirea se face într-o singură parte,  $z$  se înmulțește cu 4.

Durata de menținere la temperatură se poate determina după formula:

$$z = 2,7 D^{1,5}$$

Pentru accelerarea încălzirii se recomandă ca în zona de încărcare să se mențină temperatura ridicată. De exemplu, în cazul încălzirii pieselor de automobile, care urmează să fie călite sau normalizate, zona de încărcare se încălzește până la 900 °C, temperatura în restul cuptorului fiind de 875 °C. Ca rezultat, randamentul pe 1 m<sup>2</sup> suprafață de vatră se mărește dela 110—120 până la 175—200 kg/h.

Pentru scurtarea timpului de răcire se poate aplica răcirea în trepte. Dacă oțelul încălzit cu 30—40 °C deasupra punctului  $A_{c3}$  se răcește până la temperatura de 500—680 °C apoi se menține la această temperatură, soluția solidă se descompune foarte repede. S'a stabilit că această descompunere este însoțită de o scădere mare a durtății, ceea ce ușurează prelucrarea oțelului la mașinile unelte.

Întrebuințarea acestei metode de înmuierea oțelului scurtează mult timpul de recoacere. Trebuie remarcat faptul că temperatura la care are loc descompunerea soluției solide nu este aceeași pentru toate felurile de oțel și variază dela 500—680 °C. Descompunerea soluției solide la aceste temperaturi se produce rapid la unele oțeluri, în timp ce la alte oțeluri necesită un timp îndelungat de menținere în cuptor.



Pentru recoacerea rapidă a unui oțel oarecare, se determină temperatura la care are loc descompunerea rapidă a soluției solide, apoi se stabilește timpul de menținere corespunzător. În acest scop, probele de oțel se încălzesc la temperatura de 30—40°C deasupra punctului  $Ac_3$ , se mențin la această temperatură, apoi se introduc în cuptorul încălzit până la 500°C, 550°C, 600°C și 650°C. După 30 minute de menținerea probei la această temperatură, se face răcirea în aer. Stabilind duritatea minimă, se determină temperatura optimă pentru descompunerea soluției solide. Apoi, pentru probele rebutate, se alege cel mai potrivit timp de menținere. Pentru aceasta, piesele de probă supuse acestui tratament se sparg și se măsoară duritatea la spărtură. Aflând temperatura și timpul de menținere optim, se face recoacerea pieselor gata. Pentru obținerea proprietăților mecanice superioare, aceste piese se încălzesc ulterior deasupra punctului  $Ac_3$  (adică se execută călirea, recoacerea și normalizarea).

Temperatura la care are loc descompunerea cea mai rapidă a soluției solide suprarăcite se poate determina din curba în formă de C pentru oțelul dat. Drept cuptoare pentru răcirea inițială până la temperatura de 500—680°C, se pot întrebuința căzi de plumb, cuptoare cu flacăra sau cuptoare cu mufă. Diferența constă numai în timpul de menținere în cuptor. În cuptoarele cu flacăra, timpul de menținere trebuie să fie mai mare decât în cuva de plumb.

## 22. Recoacerea în atmosfera desoxidantă

În timpul încălzirii urmate de răcire, la recoacerea și călirea oțelului, pe suprafața pieselor se formează scorie (țunderoxizi de fier) și se produce decarburarea oțelului. Pierderile de oțel datorită oxidării formează circa 30%. Afară de aceasta, formarea scoriei și a stratului decarburat provoacă necesitatea introducerii lucrărilor suplimentare pentru eliminarea lor, ceea ce pentru unele obiecte este foarte costisitor (curățirea într'un aparat cu curent de nisip, decaparea).

Apariția scoriei și decarburarea pieselor se produc chiar în timpul încălzirii lingourilor de oțel înainte de laminare. Dacă lingoul are dimensiuni mari, iar profilul laminat are secțiune mică, stratul decarburat se laminează, devine subțire și se îndepărtează ușor în timpul prelucrării mecanice ulterioare. În alte cazuri, stratul decarburat rămâne după laminare și nu se îndepărtează decât parțial după prelucrarea mecanică. Decarburarea puternică se observă în timpul călirii oțelurilor rapide, care se execută la temperaturi ridicate (1 200—1 350°C).

În majoritatea cazurilor, prezența stratului decarburat duce la încovoierea și scăderea gradului de prelucrare a pieselor. Prezența acestui strat pe obiectele supuse nitrurării provoacă fragilitatea ridicată a stratului superior al oțelului.

Mărirea vitezei de încălzire și scurtarea timpului de menținere la temperatură în limitele admisibile, micșorează arsura.



Toate acestea arată că tratamentul termic al oțelului fără oxidare devine din ce în ce mai actual și în industrie capătă mare răspândire cuptoarele termice care permit tratamentul termic al pieselor fără oxidare și decarburare. Acest tratament termic se bazează pe crearea în cuptor a unei atmosfere neutre, care ferește de oxidare materialul ce se prelucreează.

Utilizarea atmosferei neutre la încălzire se aplică tot mai mult în industrie (recoacerea tablelor, tablelor de automobil, sârmei, benzilor de oțel, tuburilor de aviație, oțelului inoxidabil, alamei, cuprului, etc.) și are perspective largi pentru dezvoltare, deoarece dă economie mare și permite îmbunătățirea calității produselor.

În mod practic, ferirea obiectelor de oxidare se realizează în modul următor:

- 1) prin umplerea spațiului din cuptor cu gaze neutre;
- 2) prin crearea în cuptor a flăcării neutre;
- 3) prin crearea unei perdele de gaz, care să împiedice pătrunderea aerului în cuptor;
- 4) prin introducerea în camera de lucru a cuptorului a substanțelor solide și lichide, care la temperaturi ridicate degajează gaze, care măresc presiunea din cameră și împiedică pătrunderea aerului;
- 5) prin întrebuințarea băilor lichide (cu plumb, cu cloruri, cu adaos de ferosiliciu și cianuri); pentru încălzire.

În cazul recoacerei, răcirea obiectelor se face deasemenea în mediu neutru. Ca atmosferă neutră poate servi azotul, hidrogenul, aburii supraîncălziți (pentru cupru), produsele de disociație (descompunere) sau produsele de ardere ale amoniacului, produsele arderii incomplete ale țițeiului, păcurii, a gazului de iluminat și gazului natural, a propanului și butanului, etc.

Atmosfera protectoare trebuie să fie formată din gaze inerte față de metalul dat în care componenții gazului sunt îndepărtați numai atunci când sunt vătămători și nicidecum când sunt inofensivi.

În special trebuie eliminat sulful și compușii lui în timpul recoacerii aliajelor neferoase, deoarece în acest caz sulful are o influență foarte rea asupra suprafeței metalului. Când atmosfera protectoare conține sulf, pe aliajele de cupru se formează un strat de sulf de culoare albastru închis până la roșu, care se îndepărtează greu prin decapare.

Deoarece vaporii de apă se disociază la temperatură ridicată, ei trebuiesc îndepărtați în timpul încălzirii materialelor. Prezența vaporilor de apă în atmosfera protectoare nu are acțiune prea dăunătoare în timpul încălzirii metalelor neferoase, așa cum are loc în cazul oțelului.

Alegerea atmosferei protectoare depinde de felul materialului de încălzit, de condițiile cerute suprafeței prelucrate a pieselor, de temperatura și durata tratamentului și de costul gazului protector.



La alegerea atmosferei protectoare, gazele trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- 1) să ferească suprafața de oxidare sau de decarburare;
- 2) să păstreze suprafața curată;
- 3) să carbureze puțin;
- 4) să se producă pierderi minime de gaze;
- 5) gazele întrebuintate să nu fie periculoase în ceea ce privește exploziile.

În funcție de materialul încălzit se întrebuintează diferite gaze. De exemplu: pentru oțel conținând 0,40% carbon, se întrebuintează gazul natural amestecat cu aer în raportul 1:6. Acest gaz are următoarea compoziție: 74%  $N_2$ ; 9,6%  $H_2$ ; 8,7%  $CO$ ; 5,8%  $CO_2$ ; 1,9%  $CH_4$ .

S'a stabilit că unele gaze care sunt neutre pentru oțelul cu conținut redus de carbon, provoacă decarburarea și oxidarea parțială a oțelului cu conținut ridicat de carbon. Dacă pentru recoacerea de culoare deschisă la temperatura de 750 °C, alegerea atmosferei protectoare nu prezintă greutate, acest lucru se realizează mai greu la încălzirea până la temperatura de 850–950 °C a oțelului cu conținut mediu de carbon și a oțelului cu conținut ridicat de carbon.

Hidrogenul protejează bine oțelul de oxidare, dar la încălzire peste temperatura de 700 °C provoacă decarburare. Afară de aceasta, hidrogenul și azotul sunt foarte scumpi și necesită trecerea lor printr'un strat de șpan de oțel incandescent (pentru hidrogen), sau printr'un strat de șpan de cupru (pentru azot), pentru îndepărtarea oxigenului. Prezența urmelor de oxigen în gaze duce la formarea culorilor de revenire pe suprafața oțelului recopt.

Înainte de încălzire, piesele se curăță de ulei, apă, grăsime, etc. Pentru îndepărtarea petelor de ulei și grăsime se face degresarea lor în instalații speciale. Cantitățile mici de oxizi nu au acțiune dăunătoare, deoarece ei dispar în timpul încălzirii în atmosfera protectoare, care este de regulă puțin reductoare.

Există și recoacere „de culoare deschisă” (cu revenire dela starea de incandescență albă) și „cu luciu”. În cazul recoacerii „de culoare deschisă” oxidarea se produce într'un grad foarte redus și piesele iau un aspect întunecat (mat), în timp ce, în cazul recoacerii „cu luciu”, oxidarea nu are loc și piesele își păstrează aspectul lor inițial. În ultimul caz nu se admite prezența bioxidului de carbon și a vaporilor de apă în atmosfera protectoare chiar în cantități foarte mici.

Produsele arderii incomplete a gazelor se pot obține în instalația reprezentată în fig. 56. Gazul se amestecă în dispozitivul de amestecare cu aer, în cantitate determinată. Vasul de amestecare, lucrează automat și asigură obținerea amestecului cu aer în cantitate insufi-



cientă pentru ardere completă. În cazul unui exces de aer, oxigenul rămâne în produsele de ardere ceea ce provoacă oxidare. De obicei se dau 2,5—3 părți aer pentru 1 parte propan și butan și 6 părți aer pentru 1 parte gaz natural.

La presiunea de 0,015—0,020 kg/cm<sup>2</sup> amestecul intră în cuptor și arde. Cuptorul se umple cu cărămidă refractară în bucăți ceea ce permite amestecarea bună și utilizarea completă a oxigenului. În urma arderii incomplete a gazului, în afară de H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>, se formează H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S și CO.

Când atmosfera protectoare conține sulf, acesta din urmă are acțiune dăunătoare atât asupra pieselor, cât și asupra elementelor de încălzire. Pentru îndepărtarea impurităților vătămătoare (a bioxidului de sulf—SO<sub>2</sub>—și hidrogenul sulfurat—H<sub>2</sub>S), produsele arderii se trec prin calcar pe care picură apă. Calcarul face apa puțin alcalină, favorizând absorbția mai mare a bioxidului de sulf—SO<sub>2</sub>. Odată cu SO<sub>2</sub> se absoarbe parțial și H<sub>2</sub>S. După această curățire, pentru îndepărtarea totală a H<sub>2</sub>S, gazele se trec printr-o coloană conținând oxid de fier. Pentru a nu se reduce oxidantul, este necesar ca în cazul obținerii gazului să se întrebuițeze un conținut redus de sulf.

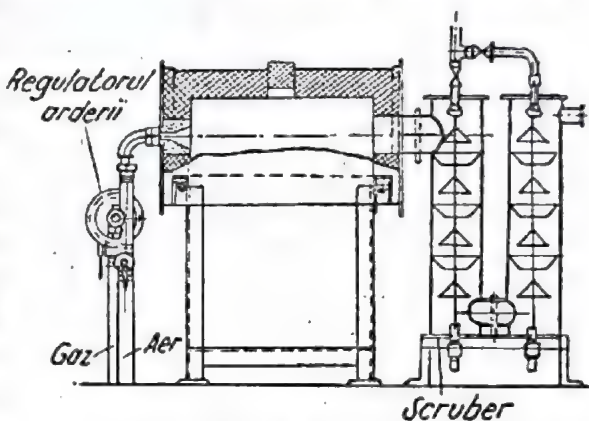


Fig. 56. Instalația pentru obținerea produselor arderii incomplete a gazelor.

Pentru îndepărtarea vaporilor de apă, gazele se trec printr'un răcitor cu temperatura de maximum 4 °C. Dacă în răcitor temperatura va fi mai ridicată, în camera cuptorului în timpul răcirii, pe piese se depune o umezeală, care duce la apariția de pete pe suprafață. Pentru îndepărtarea aproape completă a umezelii, produsele arderii se trec printr'un refrigerent electric, prin oxid de aluminiu activat sau prin clorură de calciu. Gazele astfel obținute se introduc în spațiul de lucru al cuptorului.

Curățirea gazului de bioxid de carbon se face trecând gazul prin cărbune încălzit până la incandescență (bioxidul de carbon — CO<sub>2</sub> — se transformă în oxid de carbon — CO). Eliminarea CO<sub>2</sub> se poate realiza și prin trecerea gazului printr-o soluție de hidroxid de potasiu sau de hidroxid de sodiu.

Când nu se găsesc gazul de iluminat și gazul natural, ca mediu neutru pot fi utilizate gazele obținute prin cracarea țițeiului sau păcurii în prezența aerului sau a apei.

Cracarea este descompunerea produselor petroliere în părțile lor componente, sub acțiunea temperaturii și presiunii ridicate.



Fig. 57 reprezintă instalația pentru obținerea atmosferei neutre sau a atmosferei de cementare. Compoziția gazelor obținute depinde de viteza de introducere a țigeliului sau a păcurii. Țigeliul (sau păcura) se trimite în camera (1) cu ajutorul picurătorului (3). Aerul se introduce prin tubul (2). Gazul obținut intră în răcitorul (6) și apoi trece prin vasele (5) și (4), conținând ulei și clorură de calciu.

Cracarea se face în prezența apei care se introduce în cameră. Sub acțiunea temperaturii ridicate, păcura sau petrolul și apa se descompune. În acest caz se formează o cantitate mai mică de bioxid de carbon, în schimb gazele obținute prin cracare în prezența apei au un conținut ridicat de hidrogen, ceea ce nu este de dorit de exemplu la recoacerea oțelului cu procent redus de carbon destinat pentru ștanțare adâncă sau mandrinare în stare rece (la rece).

Cu ajutorul cracării se pot obține gaze pentru cementarea gazoasă a oțelului.

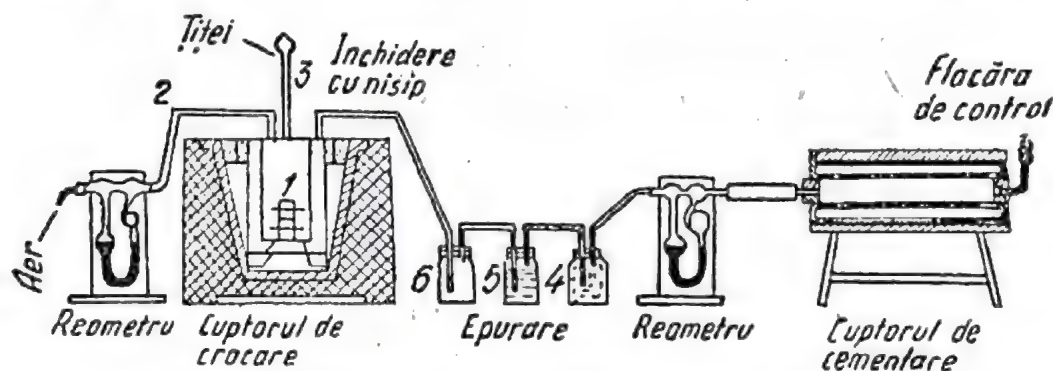


Fig. 57. Instalația pentru cracarea țigeliului și a păcurii.

Cracarea în prezența aerului se face la temperatura de  $750 \dots 800^\circ\text{C}$ , iar în prezența apei, la temperatura de  $850^\circ\text{C}$ . Dintr'un gram de petrol sau de păcură se obține între 1,7 și 2,8 litri gaz. Cracarea se poate executa și fără aer sau apă, dar în acest caz randamentul producerii de gaze va fi mai scăzut ( $0,82 \dots 0,92$  litri).

Proprietățile mecanice ale oțelului recopt în atmosferă neutră permit executarea prelucrării mecanice la rece, cu presiuni mai mari.

Pentru recoacerea cuprului, în afara produselor arderii incomplete, se pot utiliza aburii supraîncălziți. Cuprul recopt în vapori de apă are alungire mai ridicată.

Dacă pentru recoacerea cuprului se întrebuințează produsele arderii incomplete, trebuie să se mențină un raport determinat între cantitatea de gaz și cantitatea de aer. Când este lipsă de aer, se formează mult hidrogen ( $\text{H}_2$ ), oxid de carbon ( $\text{CO}$ ) și hidrogen sulfurat ( $\text{H}_2\text{S}$ ). În cazul cuprului, hidrogenul poate provoca „boala hidrogenului”, iar  $\text{H}_2\text{S}$  se îndepărtează greu și acționând asupra cuprului fierbinte, provoacă întunecarea suprafeței. Atmosfera se consideră favorabilă pentru recoacerea cuprului, dacă conținutul de oxid de carbon ( $\text{CO}$ ) se găsește în limitele  $1 \dots 2,5\%$ .



În cuptoarele de recoacere, gazul se aduce direct în camera cup-torului, care se închide ermetic cu un capac, împiedecând intrarea aerului.

Câteodată, în cazul recoacerii de culoare deschisă, se întrebuin-țează cuptoare cilindrice prevăzute cu un capac care se înșurubează. În aceste cuptoare gazul neutru se obține în urma evaporării uleiului cu incandescentă deschisă, care se introduce pe fundul cilindrului.

În cuptoarele de călire ușa se deschide foarte des și din această cauză umplerea camerei cu gaz neutru devine neeconomică. În aceste cuptoare pătrunderea aerului este evitată întrebuințând perdeaua de gaz. Fig. 58 înfățișează schema acestui cuptor. O cantitate mică de gaz și de aer se introduce în camera 1. În această cameră are loc arderea, iar produsele arderii, ieșind sub presiune prin spațiul 3 în camera 2 formează în fața camerei de lucru o perdea transversală de gaz. Această perdea nu permite pătrunderea aerului în cameră. La ridicarea ușii, perdeaua de gaz crește automat, datorită acțiunii pârghiei asupra ventilului.

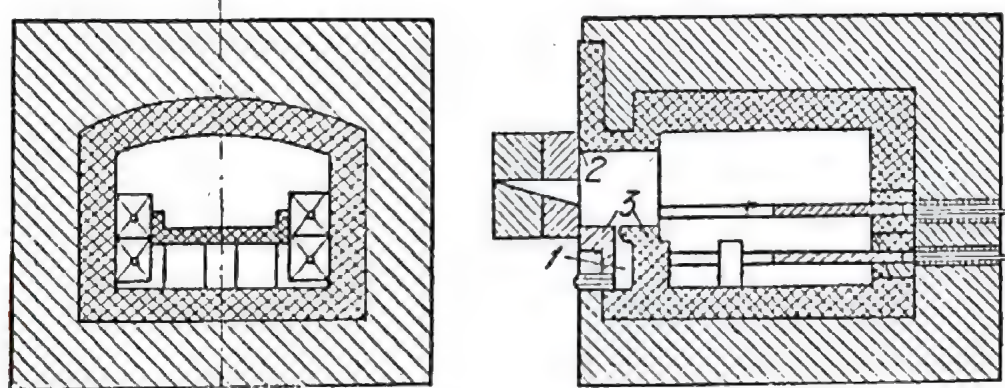


Fig. 58. Schema cuptorului cu perdea de gaz.

Mediul gazos neutru se obține introducând în cuptor substanțe solide, în formă de mufe, ce se transformă în gaz. La temperaturi ridicate aceste mufe se transformă treptat în gaz, care apără bine piesele împotriva decarburării. Mufele pot fi introduse în orice cuptor (cu păcură, cuptor electric, cuptor cu gaz, etc.) și pot fi utilizate la temperaturi până la 1 260 °C.

A. B. Smirnov și H. V. Belornecov, ocupându-se de problema protejării pieselor contra oxidării au recomandat pentru fabricarea acestor mufe următoarea rețetă (compoziție):

Grafit . . . . .	16%
Cocs . . . . .	50%
Șamotă . . . . .	35%
Argilă de Voronej . . . . .	33%
BaCO <sub>3</sub> (Carbonat de bariu) . . . . .	11%

După datele acestora, amestecul de mai sus apără oțelul rapid de decarburare timp de 15 ore de lucru, la temperatura de 1 300 °C.



## CAPITOLUL V.

### CĂLIREA OȚELULUI

Încălzind oțelul deasupra punctului  $A_{c1}$  și apoi răcindu-l repede în apă rece sau ulei, el își va schimba proprietățile inițiale. Răcirea rapidă a oțelului se numește călire, iar oțelul supus acestui tratament se numește oțel călit. În tabela 6 se arată cum se schimbă proprietățile mecanice ale oțelului carbon, după ce a fost supus călirii.

Tabela 6

Proprietățile mecanice ale oțelului carbon, înainte și după călire

Compoziția chimică în %			Rezistența la rupere în kg/mm <sup>2</sup>		Limita curgerii, în kg/mm <sup>2</sup>		Alungirea în %		Gătuirea la rupere (construcție) în %		Reziliența în kg/cm <sup>2</sup> (rezistența la șoc și lovire)	
C	Mn	Si	După normalizare	După călire în ulei	După normalizare	După călire în ulei	După normalizare	După călire în ulei	După normalizare	După călire în ulei	După normalizare	După călire în apă
0,11	0,23	0,20	34	50	26	41	35	22	65	55	—	—
0,25	0,24	0,23	50	71	30	50	25	20	60	53	—	—
0,32	0,31	0,27	60	80	42	56	23	15	53	50	10	6
0,42	0,35	0,30	65	100	45	80	22	4	63	32	7	3,5

Din tabelă se vede că după călire duritatea și rezistența cresc, iar plasticitatea și reziliența scad. Oțelul conținând până la 0,3% carbon își schimbă puțin proprietățile sale. Din această cauză se supun călirii oțelurile cu peste 0,3% carbon.

Greutatea specifică a oțelului după călire scade, adică piesa își mărește volumul.

În timpul călirii oțelul își schimbă la maximum proprietățile sale, dacă încălzirea se face deasupra punctului  $A_{c3}$ . Cine provoacă acest lucru? În timpul încălzirii până la punctul  $A_{c1}$ , în oțel nu are loc nicio transformare. În punctul  $A_{c1}$  toată perlita trece în soluție solidă. La ridicarea ulterioară a temperaturii, ferita din oțelul hipoeutectoid sau cementita din oțelul hipereutectoid încep să se dissolve treptat în soluția solidă. În punctul  $A_{c3}$  sau  $A_{c_{ot}}$  va exista numai soluție solidă. Dacă această soluție solidă se răcește repede, ea se transformă într'un component structural diferit, cu duritate mare. Acest component structural se numește martensită. În fig. 59 se prezintă structura martensitică a oțelului obținut prin încălzirea lui în prealabil deasupra punctului  $A_{c3}$ , urmată de răcire în apă.



Trebuie remarcat că în oțelul carbon soluția solidă trece în timpul răcirii rapide în martensită, iar în oțelul special, de exemplu în oțelul rapid, soluția solidă se păstrează la temperatura oțelului. Soluția solidă are duritate mică și, pentru mărirea durității, ea se transformă în martensită prin încălzire suplimentară la temperatură înaltă. În cazul oțelului rapid, încălzirea se face la temperatura de 550...600 °C.

Pincipiile teoretice ale călirii formează o problemă grea și complexă. Că toate că această problemă a preocupat aproape pe toți metalurgiștii mari, ea mai are încă două puncte în care nu s'a ajuns la rezultate precise și anume: natura martensitei și cauzele durității acesteia. Odată cu dezvoltarea procedurii roentgenografice de cercetări, care permite studiul așezării atomilor în spațiu, s'a putut stabili că martensita este soluția solidă a carbonului în fier  $\alpha$ .

Structura martensitei a fost determinată pentru prima oară de grupul de cercetători format din N. E. Seleacov, N. T. Gudțov și G. V. Curdiumov.

În ceea ce privește duritatea martensitei, există mai multe puncte de vedere. Fără să ne oprim aici asupra diferitelor teorii, vom aminti numai teoria tensiunilor interne, care este cea mai acceptabilă, deoarece explică mai mult decât oricare altă teorie fenomenele neclare care însoțesc călirea și revenirea oțelului.

Se știe că fierul  $\alpha$  se caracterizează prin rețea cubică regulată, în care la vârfuri și în centru sunt așezați cinci atomi (fig. 60, a). Această rețea se numește cub centrat. Muchia „a” a acestui cub se numește parametru:

$$a = 2,93 \text{ \AA} \text{ (angstrom-ul este egal cu } 10^{-8} \text{ cm).}$$

În timpul trecerii fierului  $\alpha$  în fier  $\gamma$ , rețeaua cubică anterioară (cubul centrat) trece în rețea cubică cu fețe centrate. În această rețea se așează 14 atomi (fig. 60, b). Parametrul  $a$  este egal cu 3,63 Å.

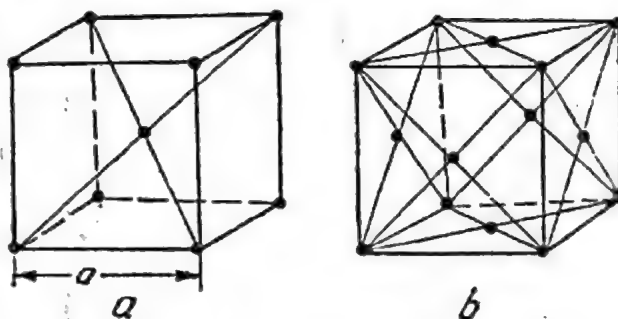


Fig. 60. Rețele în spațiu:  
a — fier  $\delta$  și fier  $\alpha$ ;  
b — fier  $\gamma$ .

La trecerea fierului  $\gamma$  în fier  $\alpha$ , rețeaua ia din nou aspectul unui cub centrat. Pentru fierul  $\alpha$  valoarea parametrului  $a$  este egală cu 2,83 Å.

Se presupune că în fierul  $\gamma$ , carbonul se găsește în centrul cubului elementar și atomii de fier nu sunt înlocuiți de el. (Soluția solidă de pătrundere).

În timpul formării martensitei din soluție solidă, în locul unei rețele cu fețe centrate și cu atomi de carbon așezați în centrul cubului, se formează o rețea centrată deformată. Această deformare se



datorește faptului că în locul rețelei de formă cubică având parametri egali, se obține rețeaua tetragonală, în care înălțimea este mai mare decât latura bazei în raportul 1,04:1. În această rețea tetragonală, un atom de fier este înlocuit cu câțiva atomi de carbon. Deoarece fierul  $\alpha$  nu disolvă complet carbonul, acesta din urmă tinde să iasă din rețea. Această stare face ca oțelul călit în vederea obținerii structurii martensitice, să prezinte tensiuni care provoacă duritate ridicată și nestabilitate. Nestabilitatea oțelului călit se vede în special la revenire. Rezultatele călirii oțelului sunt influențate de: temperatura de încălzire, timpul de menținere la temperatura prescrisă, viteza de încălzire și răcire. Să studiem acești factori.

### 23. Temperatura și viteza de încălzire

Oțelul încălzit sub punctul  $Ac_1$ , nu prezintă soluție solidă  $\gamma$  și din această cauză nu se poate căli. Oțelul hipoeutectoid încălzit puțin deasupra punctului  $Ac_1$  conține și ferită în afară de soluție solidă, deci călirea nu va fi completă. În oțelul călit incomplet, în afară de martensită se găsește și ferită care micșorează duritatea oțelului. În fig. 61 e prezentată microfotografia oțelului hipoeutectoid încălzit între punctele  $Ac_1$  și  $Ac_3$  și răcit în ulei. Prezența feritei (porțiuni albe) odată cu martensita arată că tratamentul termic de călire nu a fost complet.

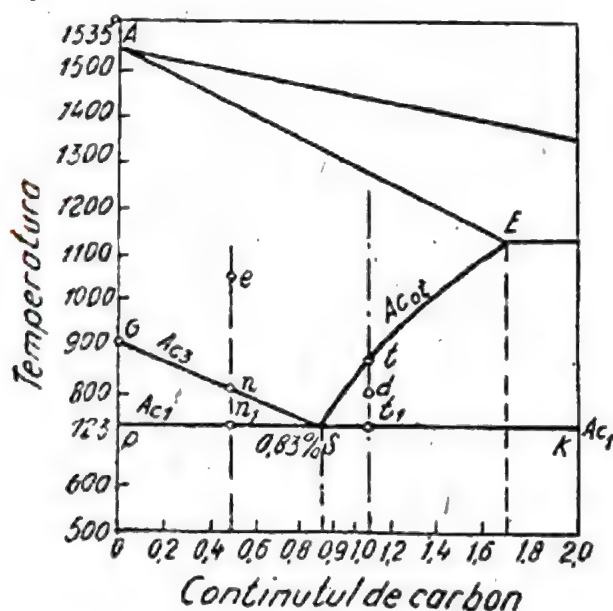


Fig. 62. Partea stângă a diagramei oțel-carbon.

Pentru călirea completă a oțelului, acesta se încălzește până în domeniul soluției solide, adică deasupra liniei GS (fig. 62) și se răcește cu viteză mare. Viteza de răcire la care se obține structura martensitică cu cantitate mică de austenită reziduală se numește viteză critică de c. lire.

Linia GS coboară odată cu creșterea conținutului de carbon. Prin urmare, temperatura de călire scade pe măsură ce crește conținutul de carbon în oțel. În practică oțelul se încălzește înainte de călire ceva deasupra liniei GS (punctul  $Ac_3$ ). Dacă oțelul se încălzește numai

până la punctul  $Ac_3$ , s'ar putea ca ferita să nu treacă toată în soluție solidă. Incălzind oțelul deasupra punctului  $Ac_3$  proprietățile lui se înrăutățesc, deoarece la temperaturi înalte granulele de oțel cresc foarte



mult și afară de aceasta în timpul răcirii dela temperaturi înalte se nasc tensiuni foarte puternice care, în cazul granulelor cu dimensiuni mari, pot provoca crăpături.

Călirea oțelului hipoeutectoid poate fi completă sau incompletă în funcție de temperatura de încălzire. Călirea completă corectă este obținută prin încălzirea oțelului cu 20—40 °C deasupra punctului  $Ac_3$  și răcirea lui cu viteza critică. În cazul călirii incomplete, încălzirea se execută între punctele  $Ac_1$  și  $Ac_3$ .

Călirea totală urmată de supraîncălzire dă granule de dimensiuni mari, iar la temperatura prea înaltă, la marginea granulelor se răspândește oxigenul (arderea oțelului), ceea ce face oțelul inutilizabil.

Oțelul eutectoid cu 0,83% carbon se încălzește în vederea călirii cu puțin deasupra punctului  $Ac_1$  (coincide cu punctul  $Ac_3$ ).

În timpul încălzirii cu puțin deasupra punctului  $Ac_1$  (fig. 62), toată perlita din oțelul hipereutectoid trece în soluție solidă și oțelul va fi alcătuit din soluție solidă și cementită. După răcirea rapidă, se obține martensită și cementită (fig. 63). Cementita are o duritate mare și din această cauză oțelul hipereutectoid călit în limita temperaturilor dintre  $Ac_1$  și  $Ac_{ot}$  va fi mai dur. La încălzire până la punctul  $Ac_{ot}$  (m), toată cementita trece în soluția solidă. Prin urmare, după călire va exista numai martensită.

Încălzirea oțelului hipereutectoid, format din perlită și cementită, pentru călire, se face puțin deasupra punctului  $Ac_1$ , adică până la temperatura de 750—760 °C. În acest caz cementita nu se disolvă complet în austenită și se găsește după călire alături de martensită. (Fig. 63).

Cementita sub formă de granule mici (globule) nu este periculoasă și în acest caz încălzirea oțelului înaintea călirii se face așa cum s'a spus, adică puțin deasupra punctului  $Ac_1$ . Prezența cementitei sub formă de ace sau rețea favorizează formarea crăpăturilor în timpul călirii și din această cauză oțelul hipereutectoid, având această cementită, se supune forjării sau laminării pentru a transforma cementita în stare globulară. Dacă acest lucru nu se poate realiza, oțelul se supune tratamentului termic în următoarele condiții:

1. Încălzirea cu 20—40 °C deasupra punctului  $Ac_{ot}$  (850—920 °C), urmată de răcire în ulei (a pieselor de dimensiuni mari) sau în aer (a pieselor de dimensiuni mici).

2. Încălzirea oțelului până la temperatura de 600—650 °C (revenire la temperatură ridicată) și menținerea lui în această temperatură timp de 30 minute până la 2 ore, în funcție de dimensiunile piesei.

Să vedem ce transformări prezintă cementita sub formă de ace și cea sub formă de rețea, în timpul acestui tratament termic.

Încălzirea deasupra punctului  $Ac_{ot}$  transformă toată cementita în soluție solidă, deci după primul tratament termic se obține oțelul cu structura troostomartensitică sau sorbitică.



Încălzind încet mai departe, particulele de cementită cresc, în urma cărui fapt se obține perlita cu structură granulară.

La încălzirea acestui oțel pentru călire până la temperatura de 750--760 °C, o parte de cementită se va găsi după răcire sub formă de granule mici, și oțelul călit la această temperatură va conține, pe lângă martensită formată din granule mici și cementită granulară, așa cum s'a observat mai sus.

Din această cauză, înainte de a fixa condițiile de călire a oțelului hipereutectoid, este necesar să se determine în laboratorul metalografic în ce stare se găsește cementita.

Oțelul hipereutectoid de scule trebuie livrat de către fabrici, cu perlită granulară.

Viteza de încălzire pentru călire are mare influență asupra calității pieselor. În special aceasta se referă la piesele fabricate din oțeluri aliate și la piesele cu formă complicată.

Datorită conductibilității termice mici, piesele din acest oțel se încălzesc neuniform în secțiune. În piesele complicate ca formă având părți subțiri și groase, primele se încălzesc repede, în timp ce ultimele necesită timp îndelungat pentru încălzire. Această încălzire neuniformă duce la mărirea neuniformă a volumului obiectului, ceea ce provoacă apariția tensiunilor și crăpăturilor în oțel.

Pentru a evita încălzirea neuniformă a acestor piese, se aplică încălzirea inițială până la 500--650 °C. După aceea, piesele se introduc în al doilea cuptor unde se încălzesc până la temperatura necesară călirii oțelului respectiv.

În afară de factorii amintiți mai sus, asupra vitezei de încălzire influențează viteza de circulație a gazelor arse, gradul de utilizare a suprafeței utile a cuptorului, așezarea pieselor și o serie de alți factori. Datorită faptului că piesele sunt așezate pe suport, încălzirea se face mai repede. Piesele așezate una lângă alta se încălzesc mai încet decât piesele așezate separat. Roata dințată prelucrată, datorită intervalelor dintre dinți, se încălzește mai repede decât roata neprelucrată, etc.

Durata de încălzire până la temperatura de 850 °C se poate calcula după formula lui N. N. Dobrohotov.

## 24. Timpul de menținere la temperatură și viteza de răcire

Timpul de menținere la temperatură, ca și temperatura, favorizează creșterea granulelor. Dacă timpul de menținere la temperatură este mare, atunci chiar la temperatură mai joasă se obțin granule mari, iar oțelul călit este fragil. Neajunsul pe care-l prezintă timpul îndelungat de menținere la temperatură are influență și asupra faptului că de pe suprafața obiectului începe să ardă carbonul (are loc decarburația oțelului) și din această cauză stratul superior al obiectului va



deveni moale. Acest lucru este foarte dăunător pentru scule și pentru diferite alte piese.

Trebuie remarcat că și timpul insuficient de menținere la temperatură are acțiune dăunătoare asupra calității piesei, deoarece în acest caz, în primul rând temperatura nu va avea posibilitatea să se egalizeze pe toată secțiunea, iar în al doilea rând trecerea feritei în soluție solidă nu se face instantaneu și necesită timp. Dacă timpul de menținere la temperatura de călire va fi mic, se obține un oțel călit incomplet. Timpul de menținere poate fi calculat după cum s'a indicat mai sus, după formula:

$$z = 2,7 D^{1,5}.$$

Piese din oțel hipereutectoid, precum și cele din oțel special, conținând elemente de aliere ca: wolfram, crom, vanadiu, siliciu, etc., se mențin în cuptor mai mult decât aceleași piese fabricate din oțel carbon obișnuit. Aceasta se explică astfel: carburile (cementita din oțelul carbon, carburile de wolfram și de vanadiu) și ferita din oțelul special (de exemplu ferita silicioasă) se transformă mai încet în soluție solidă, cum și prin faptul că aceste oțeluri au conductibilitatea termică mai scăzută.

Toate cele spuse relativ la încălzire se aplică și la răcire. Pentru a evita răcirea bruscă, se întrebuințează des ca mediu de răcire uleiul sau apa încălzită la temperatura de 50—90°C. Este foarte important ca în intervalul temperaturilor sub 400°C oțelul să se răcească încet, deoarece în acest caz se ivesc tensiunile cele mai mari. Tensiunile apărute în timpul călirii sunt așa de mari, încât, după un timp oarecare dela călire, pot provoca crăparea piesei cu o putere destul de mare.

Crăpăturile pot fi și mici și să nu pătrundă până în exterior; totuși e.e scad rezistența pieselor în timpul lucrului. De obicei în urma călirii se face revenirea, care scade tensiunile apărute în timpul călirii.

Am vorbit mai înainte că la răcire cu viteza critică, soluția solidă trece în martensită. Totuși, dacă viteza de răcire va fi sub viteza critică, alături de martensită se va forma troostită, troostită pură, sau sorbită și în sfârșit la viteza de răcire mică (de exemplu la răcirea oțelului carbon în aer) soluția solidă se va transforma în perlită. În aceste împrejurări se poate distinge, în funcție de structura obținută, răcirea bruscă, moderată și înceată, cu toate că această împărțire nu este strict științifică.

Călire bruscă se obține la răcire în apă rece (15—20°C) și în soluții apoase de clorură de sodiu. În acest caz oțelul trebuie să obțină structura martensitică (oțelurile aliate se pot căli puternic chiar la răcire în ulei sau în aer).

Călire moderată se obține la răcire în apă acoperită cu un strat de ulei de 20—40 mm. Oțelul obținut are structura troostitică. Troostita reprezintă, asemănător perlitei, un amestec de cementită și ferită.



Cementita este formată din granule așa de mici încât sunt greu de observat chiar la microscop. Troostita are o duritate și fragilitate mai mică în comparație cu martensita. În figura 64 se redă microfotografia troostitei cu puțină martensită și cementită.

În afară de apă acoperită cu un strat de ulei, călirea moderată se poate realiza cu ajutorul țițeiului, păcurii, motorinei, uleiurilor lichide minerale și vegetale, a apei la temperatura de fierbere.

Călirea înceată se obține în cazul vitezelor de răcire și mai mici. Oțelul în timpul acestei căliri dă structura sorbitică (fig. 65). Sorbita reprezintă faza ulterioară a descompunerii soluției solide. Sorbita diferă de troostită prin structura mai mare a cementitei, care formează un amestec cu ferita. Totuși această structură este mai mică (granule mai mici) decât structura perlitei. În ceea ce privește duritatea, sorbita este inferioară troostitei și martensitei, apropiindu-se de perlită. Structura sorbitică dă oțelului proprietăți elastice superioare păstrând odată cu aceasta și tenacitatea.

În tabela 7 se dă duritatea componentelor structurali ai oțelului.

Tabela 7

**Duritatea componentelor structurali ai oțelului carbon**

Denumirea structurilor	Diametrul ampren- tei la sarcina de 3000 kg și dia- metrul bilei de 10 mm	Duritatea după Brinell
Soluția solidă (austenită) . . . . .	4,26—3,83	200—250
Martensită . . . . .	2,74—2,32	500—700
Troostită . . . . .	3,51—2,74	300—500
Sorbită . . . . .	4,26—3,83	200—250
Ferită . . . . .	6,48—5,87	80—100
Perlită . . . . .	circa 4,25	circa 200
Cementită . . . . .	max. 2,32	min. 700

Aceste date se referă la oțel carbon obișnuit. Folosindu-ne de tabela de mai sus și cunoscând compoziția chimică a oțelului, se poate spune, înainte de examinarea lui în laboratorul metalografic, ce componente structurale conține oțelul respectiv.

Viteza de răcire și prin urmare și rezultatul călirii depind nu numai de lichidul întrebuitat (apa, ulei) și de temperatura lui, dar și de cantitatea de lichid. Se poate realiza călirea înceată chiar în apă rece, dacă aceasta se ia în cantitate mică. Acest fapt se explică prin creșterea apreciabilă a temperaturii lichidului în timpul călirii.



Câteodată piesa, călită nu se răcește în lichid până la temperatura camerei, ci se scoate la temperatura de 300—400 °C și apoi se răcește în aer. În acest caz călirea este însoțită de revenire.

Aceste două operații se pot executa împreună pentru piese importante numai în cazul când se păstrează strict regimul de călire, deoarece rezultatul obținut depinde de timpul de menținerea piesei în mediul de răcire, o mică variație având influență asupra proprietății oțelului de a putea fi prelucrat.

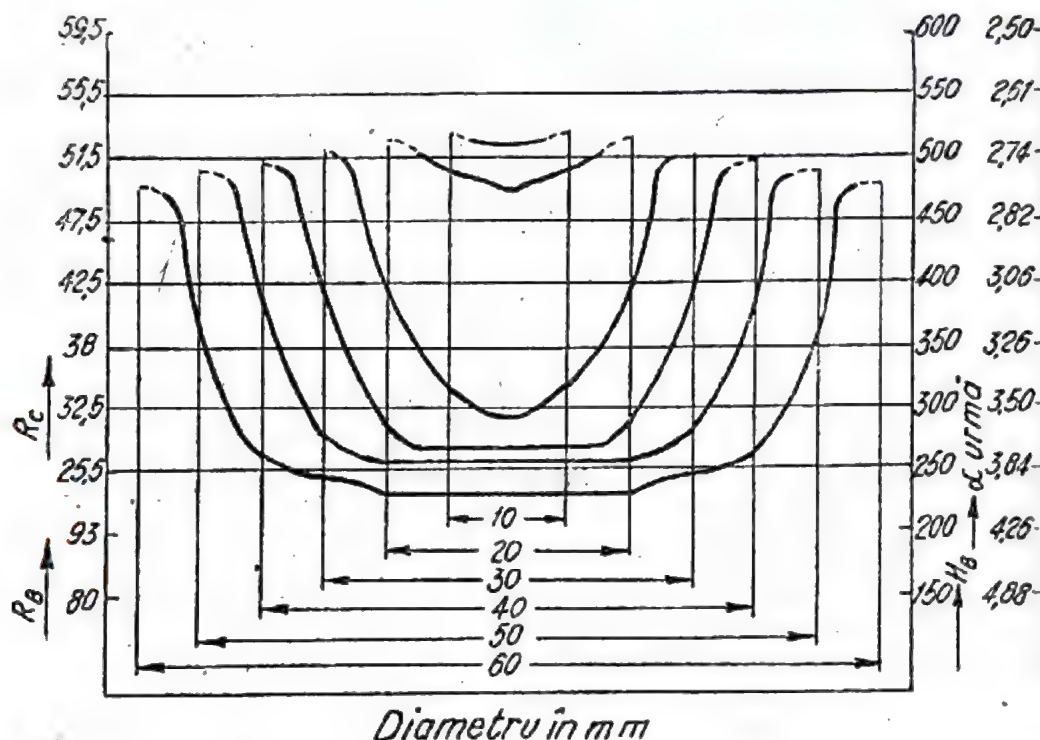


Fig. 66. Diagramele gradului de călire al oțelului carbon cu 0,45% carbon. Călirea la 850 °C, în apă.

Afară de factorii arătați mai sus, asupra rezultatului călirii influențează: compoziția oțelului, greutatea pieselor ce trebuiesc călite și temperatura de încălzire.

Am arătat mai înainte că în cazul oțelurilor aliate se poate obține o călire puternică la viteză de răcire mică (răcire în aer).

Pentru oțelul carbon viteza de răcire trebuie să fi foarte mare, ceeace, explică de ce martensita se formează greu în interiorul pieselor din oțel carbon. De obicei în aceste piese (dacă sunt mari) se formează la suprafață martensita, care în interiorul piesei trece treptat în troostită și chiar în perlită.

Fig. 66 reprezintă diagrama gradului de călire a oțelului carbon cu 0,45% carbon.



Trebue remarcat că:

1) Oțelul eutectoid se căleşte mai ușor la temperatura ridicată decât oțelul hipoeutectoid și oțelul hipereutectoid (adică are viteza critică de călire mai mică).

2) Cu cât conținutul de carbon în oțelul carbon este mai mare, cu atât oțelul are conductibilitate termică mai mică.

În ultimul caz, temperatura se egalizează greu la toată secțiunea piesei. Aceasta duce la concluzia că răcirea în apă a oțelului cu conținut ridicat de carbon trebue să se facă încet, micșorând răcirea cu un strat de ulei de 20...40 mm. Micșorarea răcirii se realizează și prin faptul că piesele din oțel cu conținut ridicat de carbon se călesc la temperaturi pe cât e posibil mai mici.

Mai departe se va insista asupra călirii în trepte, care permite să se micșoreze mult viteza de răcire și totuși să se obțină o structură martensitică.

## 25. Mediul de răcire

Alegerea mediului de răcire potrivit și temperatura mediului are mare importanță în călirea oțelului. La alegerea mediului de răcire, trebue să se țină seama de compoziția oțelului, de forma și de dimensiunile piesei. Cu cât conținutul de carbon este mai mare și cu cât piesa este mai suțire, cu atât călirea este mai intensă. Trebue să se aibă în vedere următoarea regulă fundamentală: piesa nu se răcește brusc, dacă acest lucru nu este impus de duritate, deoarece călirea bruscă favorizează formarea tensiunilor și crăpăturilor.

Pentru a evita formarea crăpăturilor, piesele scumpe de formă complicată și cu conținut ridicat de carbon se călesc mai încet decât este necesar.

Piesa cedează în timpul răcirii o parte din căldura ei pentru transformarea în vapori a lichidului ce vine în contact cu ea. Această cantitate de căldură, diferită pentru fiecare lichid, se numește căldura de formare a vaporilor. Cu cât temperatura de formare a vaporilor pentru un lichid este mai mare, cu atât călirea este mai puternică. Apa are căldură mare de formare a vaporilor și din această cauză călirea în apă este puternică.

Pentru ca formarea vaporilor să meargă mai repede și căldura să fie extrasă mai ușor din piesa ce se căleşte, aceasta se agită într-o cadă de călire, vertical pe axă sau pe circumferință, în funcție de forma piesei. În fabrici, drept mediu de răcire pentru călire se întrebuințează diferitele lichide ca: apa, soluții apoase de săruri și acizi, uleiurile vegetale și minerale, păcura, etc. Soluțiile de sodă și de sare de amoniac, se întrebuințează pentru călirea pieselor cu forme complicate, la care există pericolul desprinderii părților separate. Ca mediu de răcire din seria uleiurilor vegetale, se întrebuințează uleiul de rapiță.



de cânepă și de in, iar din seria uleiurilor minerale, uleiurile de transformator și de mașini. Diferența între rezultatele călirii în uleiuri vegetale și ale călirii în uleiuri minerale, se observă numai în cazul obiectelor subțiri. Uleiul vegetal dă o duritate mai mare. Temperatura mediului de răcire are o mare importanță. Cu cât ea este mai joasă, cu atât călirea este mai bruscă. Totuși nu se poate întrebuița apa la temperatura sub  $15 \dots 20^\circ\text{C}$ , deoarece la temperaturi prea scăzute ea nu mărește duritatea obiectelor, ci favorizează formarea crăpăturilor. Uleiul căleşte mai slab decât apa.

De obicei apa conține o cantitate mică de săruri (săruri de calciu, săruri de magneziu), de care depinde duritatea ei.

Aceste săruri au influență dăunătoare asupra călirii și din această cauză apa cu duritate mică (apa fiartă, apa de ploaie și apa utilizată) conținând puține săruri, căleşte mai bine decât apa proaspătă dela robinet. Clorura de sodiu și acizii îndepărtează duritatea apei și din această cauză aceste impurități au acțiune favorabilă (de accelerare) în timpul călirii.

Apa acidulată are neajunsul că după călire acoperă piesa cu rugină. Pentru îndepărtarea acestui neajuns, piesa călită se spală în apă cu sodă.

Prezența varului, săpunului, alaunilor și glicerinei în apă scade proprietatea de călire a apei.

Uleiurile pentru călire trebuie să fie pure, fără mirosuri străine și nu trebuie să se rezinifice, deoarece în acest caz vor rămâne pe piese, provocând un consum mare de ulei.

Metalele și sărurile topite se întrebuițează pentru călirea oțelurilor speciale și în cazul călirii în trepte pentru piesele din oțel carbon. În acest scop se întrebuițează des plumbul și aliajul cu staniu. Deoarece staniul este scump, se recomandă întrebuițarea unui amestec de săruri. În tabelele 8 și 9 se dau temperaturile de topire ale unor săruri și amestecurilor de săruri, care pot fi utilizate ca mediu de răcire în cazul călirii încete, și ca băi pentru încălzirea pieselor.

Oțelul rapid se mai poate căli în grăsime, uleiuri, țifei și în curent de aer. Răcirea între plăci de fontă sau de oțel se aplică pieselor foarte subțiri (discuri, benzi, pile, etc.). Acest procedeu de răcire exclude îndoirea lor și le dă în același timp duritatea necesară.

Lichidele de răcire, după proprietatea lor de călire, se clasează în următoarea ordine:

- 1) apa la temperatura de fierbere;
- 2) apa încălzită până la temperatura de  $80^\circ\text{C}$ ;
- 3) ulei de in, cânepă, țifei;
- 4) apa încălzită până la temperatura de  $60^\circ\text{C}$ ;
- 5) acid sulfuric cu concentrația  $95\%$ ;
- 6) apa încălzită până la temperatura de  $40^\circ\text{C}$ ;
- 7) apa încălzită până la intervalul de temperaturi de  $0^\circ\text{C}$  și  $30^\circ\text{C}$ ;

8) soluția apoasă cu 10...20% acid sulfuric (la temperatura de 20 °C);

9) soluția apoasă cu 10% clorură de sodiu (20 °C);

10) soluția apoasă cu 5% hidroxid de sodiu.

Cea mai slabă călire o dă apa încălzită până la fierbere.

Tabela 8

Temperaturile de topire a sărurilor

Denumirea sărurilor	Formula	Temperatura de topire, °C
Azotitul de sodiu . . . . .	$\text{NaNO}_2$	820
Azotatul de sodiu . . . . .	$\text{NaNO}_3$	310
Azotatul de potasiu . . . . .	$\text{KNO}_3$	340
Cianura de potasiu . . . . .	$\text{KCN}$	550
Cianura de sodiu . . . . .	$\text{NaCN}$	553
Clorura de calciu . . . . .	$\text{CaCl}_2$	723
Clorura de potasiu . . . . .	$\text{KCl}$	790
Clorura de sodiu . . . . .	$\text{NaCl}$	810
Soda . . . . .	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	850
Potasa . . . . .	$\text{K}_2\text{CO}_3$	910
Clorura de bariu . . . . .	$\text{BaCl}_2$	960

Tabela 9

Temperatura de topire a amestecurilor de săruri

Compoziția amestecului	Temperaturi de topire, °C	Temperaturi de lucru, °C
Azotatul de sodiu ( $\text{NaNO}_3$ ) 55% și azotit de potasiu ( $\text{NaNO}_2$ ) 45% . . . . .	220	220...482
Azotat de potasiu ( $\text{KNO}_3$ ) 55% și azotat de sodiu ( $\text{NaNO}_3$ ) 45% . . . . .	218	218...482
Clorură de sodiu ( $\text{NaCl}$ ) 28% și clorură de calciu ( $\text{CaCl}_2$ ) 72% . . . . .	505	537...810
Sodă I ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 50% și clorură de potasiu ( $\text{KCl}$ ) 50% . . . . .	553	592...818
Clorură de sodiu ( $\text{NaCl}$ ) 50% și potasă ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) 50% . . . . .	553	592...818
Clorură de sodiu ( $\text{NaCl}$ ) 35% și sodă ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 65% . . . . .	620	650...818
Clorură de calciu ( $\text{CaCl}_2$ ) 50% și clorură bariu ( $\text{BaCl}_2$ ) 50% . . . . .	600	650...900
Clorură de sodiu ( $\text{NaCl}$ ) 22% și clorură de bariu ( $\text{BaCl}_2$ ) 78% . . . . .	635	680...900
Clorură de sodiu ( $\text{NaCl}$ ) 44% și clorură de potasiu ( $\text{KCl}$ ) 56% . . . . .	667	705...870





O mare importanță prezintă indicația lui S. S. Steinberg, relativ la faptul că la alegerea mediilor de răcire nu trebuie să se pornească numai dela proprietatea de răcire în domeniul temperaturilor înalte, dar să se ia în considerație și viteza de răcire în momentul când austenita trece în martensită. Deoarece această transformare provoacă apariția tensiunilor, lichidele de răcire trebuie să asigure trecerea rapidă a intervalului cu stabilitatea minimă a austenitei. Viteza de răcire trebuie să fie mică în domeniul transformărilor martensitice pentru că o viteză mare de răcire duce la formarea crăpăturilor.

În tabela 10 se trec datele lui S. S. Steinberg relative la viteza de răcire a unor medii de călire în intervalul de temperaturi 650...550 °C și 300...200 °C.

Tabela 10

## Viteze de răcire a unor medii de călire

Mediul de călire	Viteza de răcire în grad/s, în intervalele	
	650 ... 550°	300 ... 200°
Apa distilată . . . . .	250	200
Apa de robinet la temperatura de 18 °C . . . . .	600	270
" " " " " 50 °C . . . . .	200	270
Soluția de 10% hidroxid de sodiu în apă (la temperatura de 18 °C) . . . . .	100	300
Soluția de 10% clorură de sodiu în apă (la temperatura de 18 °C) . . . . .	1 100	300
Uleiuri minerale (ulei de transformator și ulei de mașini) . . . . .	120 ... 150	25 ... 30

Din tabela de mai sus se vede că soluția de 10% clorură de sodiu, care asigură o viteză mare de răcire la început, are aproape aceeași viteză de răcire ca și apa curată în intervalul de temperaturi 300...200 °C. Această proprietate permite să se recomande soluția de 10% clorură de sodiu în apă la temperatura de 18 °C pentru călirea oțelului carbon. Adâncimea de călire va fi mai mare și nu se vor forma crăpături.

În cazul fabricării în serie, pentru a asigura obținerea pieselor de aceeași calitate, temperatura mediului de răcire trebuie să fie constantă. Aceasta se realizează întrebuițând răcirea artificială a lichidului. Pentru aceasta se introduce în cuvă o serpentină formată dintr'o serie de tuburi prin care curge apa (fig. 67), sau lichidul de răcire care trece prin tuburi așezate în a doua cuvă cu apă. În ultimul caz, procedeul de aducere și refulare a apei trebuie să fie astfel încât lichidul rece să se aducă pe jos, iar lichidul cald să se elimine pe sus.

În cazul acestui procedeu lichidul [se mișcă uniform cu aceeași temperatură, excluzându-se în același timp formarea curenților reci și calzi. Deoarece straturile superioare se încălzesc mai repede decât

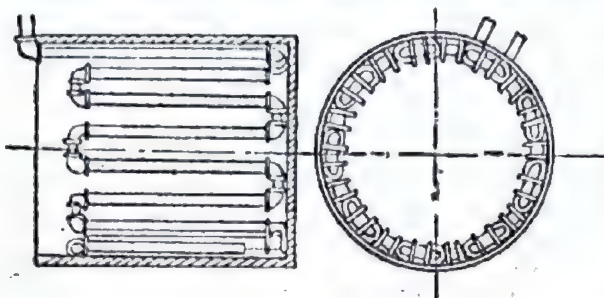


Fig. 67. Serpentina pentru răcirea lichidului.

cele inferioare, pentru egalizarea temperaturii în întreaga masă de lichid, se aplică agitația forțată cu ajutorul pom-pelor.

Câteodată se întrebuițează cuve cu pereți dubli între care circulă apa rece.

Uleiul din cuvă se răcește cu aerul și apa, care circulă între pereții dubli ai cuvei.

Uleiul se răcește relativ repede trecând aer prin el. În fig. 68 se arată o cuvă de că-

lire. Piesele care trebuie să aibă duritate mare pe suprafața interioară (de exemplu inele pentru calibre, matrițe pentru tras, ștanțe, ciocane) se călesc în curent de apă (fig. 69 și 70).

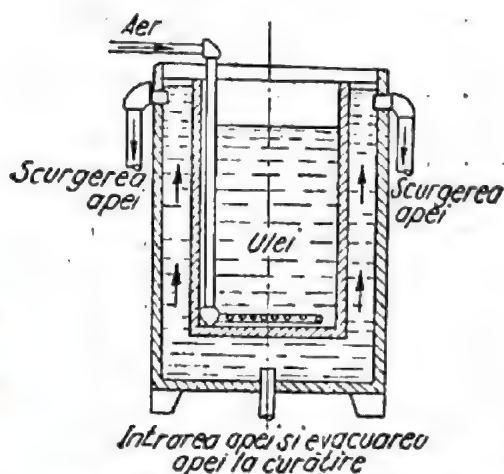


Fig. 68. Cuvă de călire cu ulei.

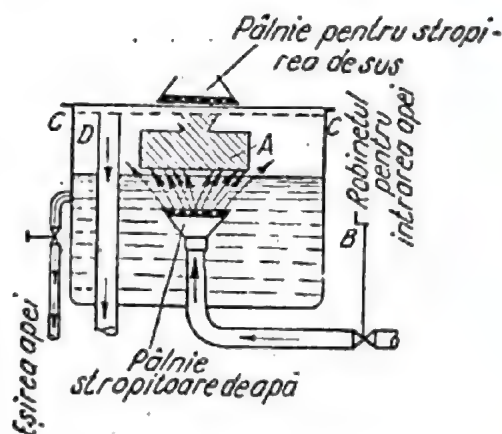


Fig. 69. Răcirea șanțelor la călire.

Când piesele de serie se călesc în ulei, se folosește un răcitor special pentru ulei (fig. 71). Uleiul din cuvele de călire intră în rezervor (1), apoi în răcitor (2). Prin tuburile răcitorului circulă apa rece. Spălând aceste tuburi, uleiul se răcește parțial și intră în răcitorul al doilea.

În timpul călirii în ulei, se formează vapori și produse de ardere ale uleiului. Pentru a elimina acțiunea dăunătoare a acestora, cuvele de călire se prevăd cu ventilaatoare.

În prezent, în multe fabrici se utilizează cuve de călire prevăzute cu benzi rulante, de asemenea se utilizează prese în care piesele fixate în dispozitive de strângere, se răcesc în ulei sau în alt lichid.



Procedeele de răcire artificială descrise mai sus, în afară de scăderea temperaturii lichidului, favorizează și egalizarea temperaturii în toate părțile cuvei. Prin aceasta se realizează uniformitatea de răcire a piesei, micșorându-se pericolul de deformare și de apariția crăpăturilor. Odată cu răcirea artificială, trebuie să se țină seama de faptul că cuva de călire trebuie să fie încăpătoare, altfel nici prin răcirea artificială a lichidului nu se va putea elimina ridicarea temperaturii.

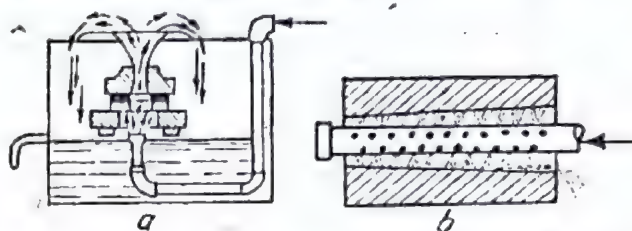


Fig. 70. Dispozitiv cu curent de apă pentru răcirea suprafeței interioare a pieselor:  
a — piese scurte ; b — piese lungi.

Împreună cu temperatura mediului de răcire, asupra calității călirii influențează și durata de răcire care trebuie să fie suficientă pentru a răci piesa atât în exterior, cât și în interior. În caz contrar căldura

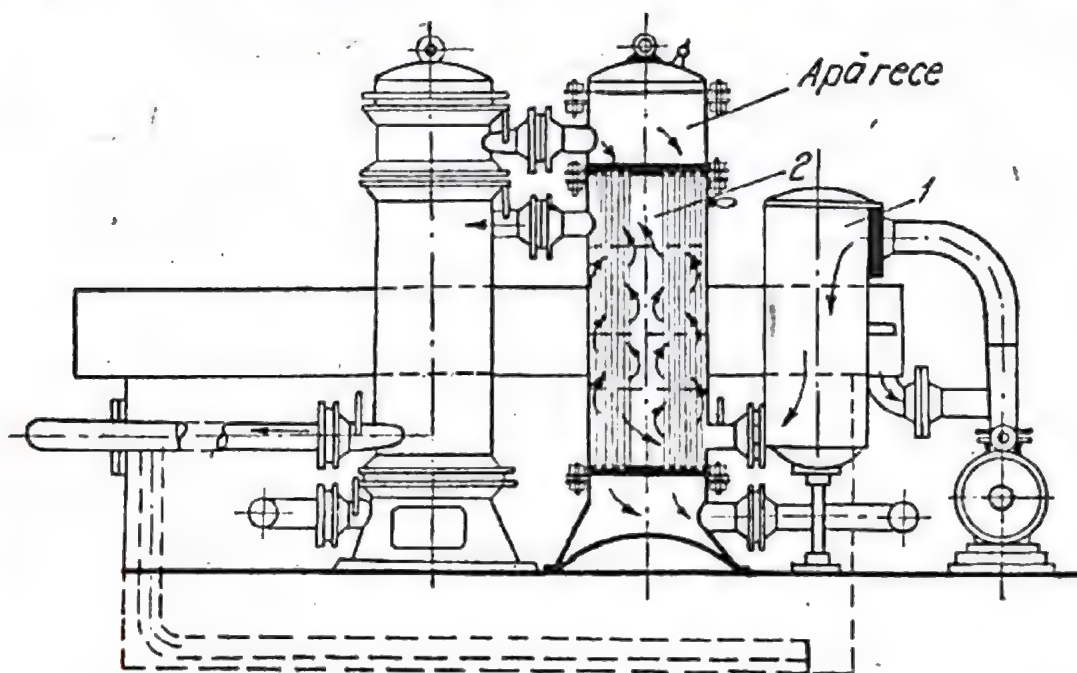


Fig. 71. Răcitor pentru ulei.

care vine din straturile interioare ale obiectului încălzește straturile exterioare și le înmoaie (autorevenire).

## 26. Defectele oțelului datorite călirii

**Crăpături de călire.** În timpul călirii apar foarte des crăpături în piese. Apariția crăpăturilor se datorește:

- 1) încălzirii sau răcirii neuniforme;
- 2) schimbărilor structurale ce iau naștere în oțel;

3) defectelor care apar la turnarea și laminarea oțelului, transmitându-se pieselor;

4) încălzirii și răcirii rapide (tensiuni datorite căldurii).

În timpul încălzirii și răcirii oțelului au loc schimbări de volum, care depind de temperatura și de transformările structurale din oțel.

În timpul încălzirii pieselor (mai ales din oțeluri speciale), căldura se transmite încet de la un strat la celălalt (conductibilitate termică mică). Din această cauză un strat de metal se dilată, iar celălalt strat rămâne cu volumul anterior sau se dilată foarte puțin. Acest fenomen provoacă tensiuni care pot duce la crăpături. Același lucru se întâmplă și în cazul răcirii, numai că aci tensiunile se nasc datorită faptului că stratul superior se contractă, iar stratul inferior, neputând să se răcească, rămâne fără transformări.

Dacă se încălzesc sau se răcesc piese de formă complicată, părțile lor subțiri și groase își schimbă neuniform temperatura și în mod corespunzător cresc sau se micșorează neuniform ca volum.

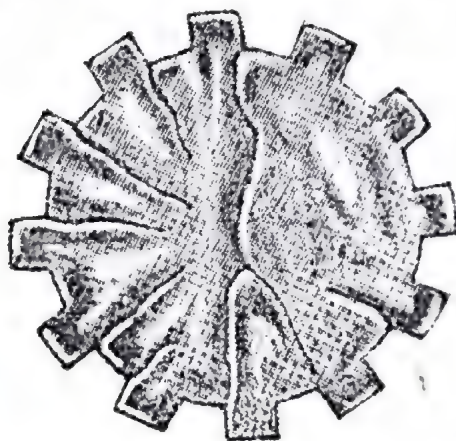


Fig. 72. Crăpături pe roata angrenajului.

Această schimbare neuniformă a volumului părților separate ale piesei provoacă apariția tensiunilor. Pentru a le evita, piesele complicate se încălzesc încet și nu se supun călirii brusce.

Ca regulă generală, crăpăturile se formează între ieșiturile pieselor, sau în locurile cu treceri brusce în grosime, sau în locuri abrupte. Fig. 72 reprezintă secțiunea transversală a roții de angrenaj cu șanțuri frezate. În această figură se vede că crăpăturile au apărut datorită unghiurilor prea ascuțite ale șanțurilor.

Pentru a evita formarea crăpăturilor, trecerile brusce din piese se netezesc, iar dacă aceste modificări nu sunt posibile, se recomandă întrebuițarea mediilor de răcire mai slabe. În acest caz, viteza de răcire în locurile periculoase se micșorează prin ungerea locurilor corespunzătoare cu un amestec de argilă și cretă sau prin înfășurarea cu un șnur de asbest.

Fig. 73 prezintă un alt caz de formarea crăpăturilor, în timpul călirii în apă a arborelui cotit executat din oțel cu crom și nichel.

Tensiunile ce iau naștere în piese la temperaturi ridicate nu sunt prea periculoase, deoarece oțelul la aceste temperaturi este foarte plastic. La temperaturi joase oțelul este mai puțin plastic și din această cauză apariția crăpăturilor este mai probabilă.



În timpul răcirii rapide, austenita se transformă în martensită. Această transformare este însoțită de creșterea volumului. Pentru obținerea martensitei la călirea oțelului carbon, viteza de răcire trebuie să fie de  $120 \dots 150^\circ\text{C/s}$ . Viteza la care apare structura martensitică cu cantitate mică inevitabilă de austenită reziduală, se numește viteză critică de răcire.

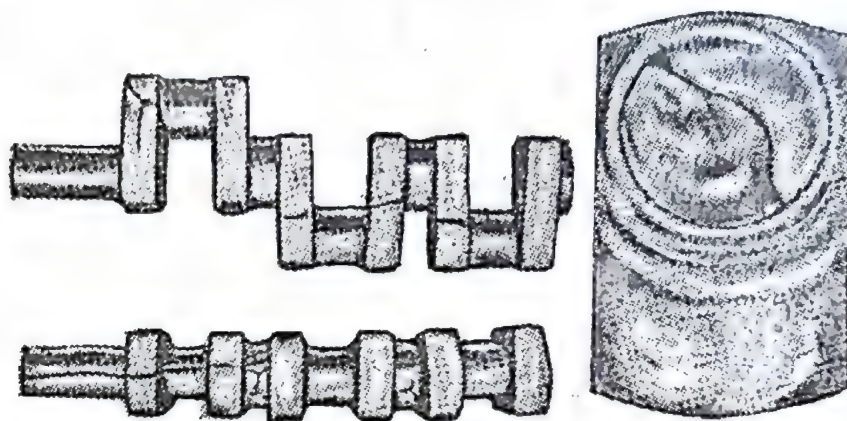


Fig. 73. Propagarea crăpăturilor în timpul călirii arborelui cotit.

Fig. 74 și 75 conțin fotografiile microstructurilor unei epruvete metalografice de oțel călit și atacat conținând  $1,34\%$  carbon. Miezul (inima) acestei probe conține troostită, cementită și o cantitate mică de martensită (fig. 74), partea exterioară conține martensită și cementită, iar stratul intermediar conține martensită, troostită și cementită (fig. 75).

Acest fenomen provoacă tensiuni mari care vor fi explicate după ce se vor cunoaște variațiile de volum care iau naștere în timpul transformărilor structurale ale oțelului.

În fig. 76 se găsesc curbele de variație ale volumului în funcție de transformările structurale și în funcție de variațiile de temperatură. Curba I dă variația volumului oțelului în timpul încălzirii încete<sup>1)</sup>. În punctul  $Ar_1$  (transformarea soluției solide în perlită) oțelul se dilată brusc, prezintă un salt, dar răcirea ulterioară va fi însoțită de contracție uniformă. Aspectul curbei se schimbă brusc, dacă răcirea se face repede. Curba II reprezintă schimbarea volumului în cazul răcirii rapide. Se vede că contracția până în punctul  $M_n$  (punctul unde începe să se formeze martensita, după S. S. Steinberg) decurge uniform. Dela punctul mar-

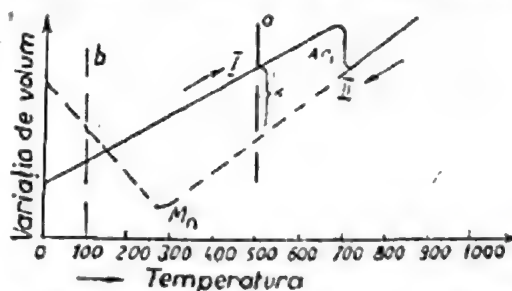


Fig. 76. Curbele de variație ale volumului oțelului.

<sup>1)</sup> În timpul răcirii, direcția săgeții trebuie schimbată în sens contrariu.

tensitic  $M_n$  oțelul începe să se dilate uniform și soluția solidă trece în martensită.

Dacă se ia în considerare poziția „a” de pe curbele de variație ale volumului oțelului și se urmăresc transformările care au loc în oțel în timpul răcirii, se constată că diferența dintre volumul soluției solide (în cazul răcirii rapide, aceasta nu se schimbă până la punctul  $M_n$ ) și volumul perlitei sau troostitei, care se formează în interior (fig. 77), este egală cu  $K$ . Miezul (format din troostită sau perlită) va întinde

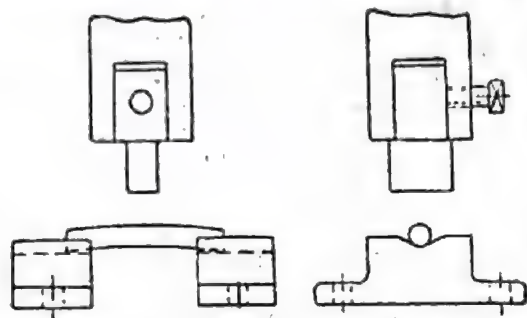


Fig. 78. Indreptarea pieselor la presă.

învelișul constituit din soluția solidă, dar soluția solidă este mai plastică și din această cauză nu se vor forma crăpături.

Altfel stau lucrurile în cazul poziției „b”. În acest caz, miezul tinde să se contracte în timp ce învelișul martensitic se dilată și astfel în stratul intermediar se formează tensiuni care pot duce la apariția crăpăturilor.

Prezența incluziunilor de sgură și a crăpăturilor mici rămase dela laminare în piese, provoacă în aceste locuri apariția tensiunilor mari, care duc la formarea crăpăturilor.

### *Variația dimensiunilor și deformarea pieselor la călire*

În timpul călirii se obține martensita care are un volum mai mare decât componentii structurale ai oțelului necălit (ferita și perlita), din care cauză obiectul își va schimba dimensiunile după călire. Neajunsul se poate remedia, dacă nu se cere respectarea dimensiunilor exacte. Dar acest lucru nu se poate admite în cazul când piesele trebuie să aibă dimensiuni precise, conform destinației lor.

Variația dimensiunilor se poate evita parțial aplicând călirea moderată sau călirea dublă. Călirea dublă se efectuează în următoarele condiții: prima călire se face în ulei după ștanțare, forjare sau laminare, urmată apoi de recoacere pentru a ușura prelucrarea la dimensiunile finale pe mașini unelte, iar la sfârșit are loc a doua călire. După a doua călire, obiectele își schimbă mai puțin dimensiunile și forma.

Aceasta se explică prin faptul că ștanțarea, forjarea sau laminarea provoacă tensiuni interne, care în timpul primei încălziri dispar, provocând îndoirea corespunzătoare. Dacă după tratamentul mecanic corespunzător, aceste piese se călesc a doua oară, ele își schimbă forma mult mai puțin.

În momentul de față nu există încă reguli cu ajutorul cărora să se determine dinainte în ce fel își va schimba oțelul dimensiunile lui.



În unele cazuri obiectele se micșorează în lungime și cresc în grosime și lățime, iar în alte cazuri are loc din contră, creșterea în lungime. Piese din oțel aliat se lungesc aproape în toate cazurile. Piesele îndoită se îndreaptă sau la presă (fig. 78) sau manual cu ajutorul ciocanului (fig. 79).



Fig. 79. Îndreptarea pieselor cu ajutorul ciocanului:

*a* — din partea convexă;  
*b* — din partea concavă.

Câteodată piesele se îndreaptă foarte repede, bătând cu ciocanul din partea concavă și nu din partea convexă. Aceasta se aplică cu succes în special la îndreptarea benzilor (fig. 79). Înainte de îndreptare, se recomandă ca piesa să fie încălzită până la temperatura de 100–150 °C.

## 27. Călirea superficială

De foarte multe ori, piesele trebuie să aibă duritate ridicată numai în anumite locuri ale suprafeței lor. Aceasta se poate realiza prin cementare și nitrurare (Cap. VII). Totuși aceste procese au o serie de neajunsuri importante și sunt costisitoare.

În prezent se întrebuințează pe o scară largă, călirea superficială. Ea prezintă o serie de avantaje: dă posibilitatea ca încălzirea să se facă foarte repede, se obține o duritate mare pe suprafață păstrând miezul tenace, împiedică îndoirea și permite călire locală. Marele avantaj al călirii superficiale este rentabilitatea, din cauză că în loc să se încălzească toată piesa până în interior, se încălzește numai stratul superficial.

În cazul călirii superficiale încălzirea se poate face cu ajutorul flăcării oxi-acetilenice, curentului de înaltă frecvență, curentului electric prin procedeul de contact și curentului electric într-o baie de electroliți. Călirea superficială poate fi realizată în mașini speciale. În acest scop piesele se încălzesc în cuptoare, apoi se supun răcirii rezezi într'un timp determinat în mașini de călire. În cazul acestei căliri miezul rămâne moale. La călire superficială se întrebuințează oțelul cu granule mici, ceea ce elimină în mare măsură pericolul supraîncălzirii și apariției crăpăturilor.

*Încălzirea cu ajutorul flăcării oxi-acetilenice.* În cazul încălzirii oxi-acetilenice (fig. 80) piesa se încălzește la suprafață, apoi se răcește în funcție de compoziția chimică, cu apă, ulei sau în aer.

Din cauză că suprafața oțelului se încălzește repede și granulele nu au timpul necesar să crească până la dimensiune mare, temperatura de călire se ridică cu 70–100 °C deasupra punctului  $A_{c3}$ . În urma călirii suprafața capătă o duritate mai mare, în timp ce miezul

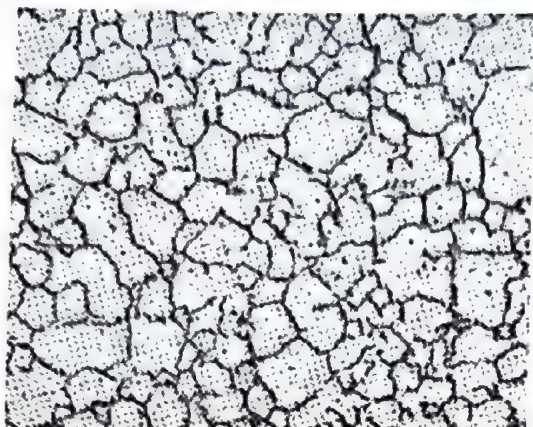


Fig. 55. Oțel hipereutectoid după atacare cu picrat de sodiu.

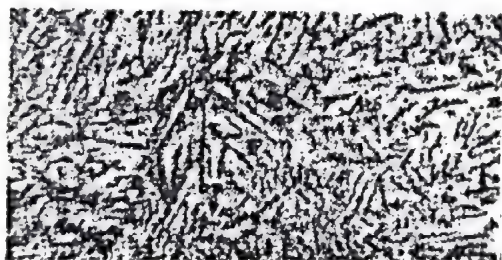


Fig. 59. Structura martensitică a oțelului.

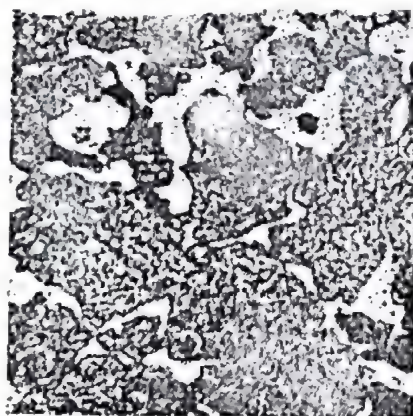


Fig. 61. Microstructura oțelului cu 0,40% C, călit între punctele  $Ac_1$  și  $Ac_3$  (martensita și ferita).

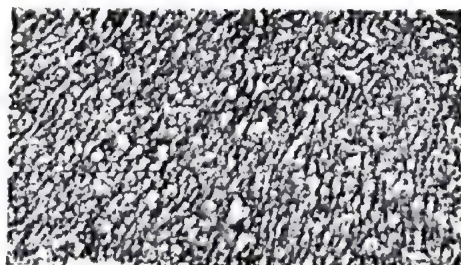


Fig. 63. Oțel hipereutectoid, călit între punctele  $Ac_1$  și  $Ac_{ot}$  (martensita și cementita).

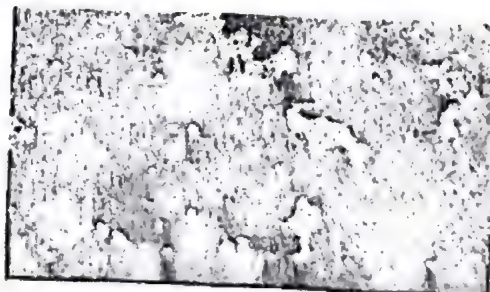


Fig. 64. Troostita plus martensita plus cementita sub formă de granule.



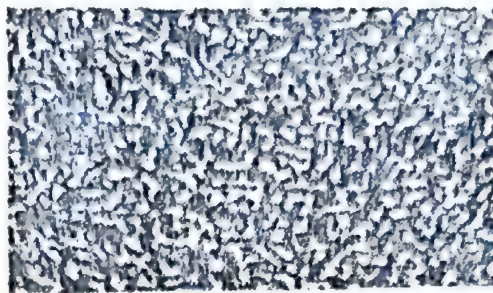


Fig. 765. Structura sorbitică a oțelului.



Fig. 74. Epruvetă de oțel cu 1,34% C, călit (troostita plus porțiuni mici de martensită și cementita sub formă de granule lucioase).

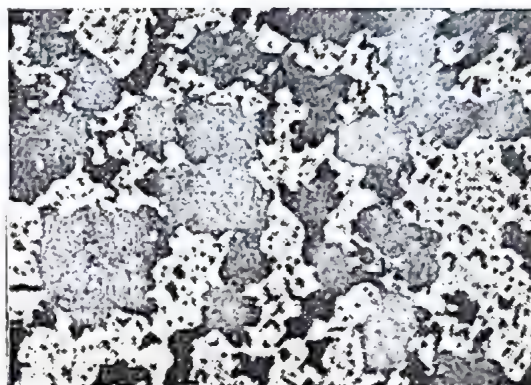


Fig. 75. Idem ca și la fig. 74. Stratul intermediar format din troostită plus martensită plus cementită.



Fig. 77. Epruvetă de oțel hipereutectoid cu 1,34% C, călit (aspectul șabei după atacare).

piesei păstrează duritatea inițială. Mediul de răcire trebuie să fie bine ales, corespunzător cu felul oțelului.

În timpul lucrului, suprafața piesei trebuie să se găsească la distanță de 2...3 mm de vârful conului flăcării iar distanța între capătul arzătorului și capătul tubului de alimentare cu apă nu trebuie să depășească 8...15 mm (acest lucru se găsește în fiecare caz izolat, prin încercări). Adâncimea stratului călit poate varia dela 2 la 15 mm. Cu cât distanța între capătul arzătorului plat și capătul tubului de alimentare cu apă este mai mare și cu cât viteza de lucru este mai mică, cu atât adâncimea de călire este mai mare. Viteza de lucru variază în limitele 100...200 mm/min. Încălzirea suprafețelor late se face cu ajutorul mai multor arzătoare cu flacără plată.

Raportul dintre cantitatea de oxigen și cantitatea de acetilenă are mare importanță pentru calitatea călirii superficiale. Rezultatele cele mai bune se obțin în cazul raportului 1 : 1. La exces de oxigen, apar crăpături foarte fine, care se descoperă numai prin atacare adâncă.

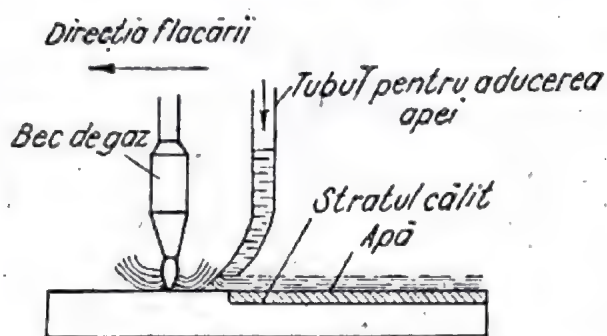


Fig. 80. Schema călirii unei piese plate cu ajutorul flăcării oxiacetilenice.

Marele neajuns al călirii superficiale cu ajutorul flăcării oxiacetilenice constă în lipsa aparatelor eficiente pentru măsurarea temperaturilor.

*Încălzirea cu ajutorul curentului de înaltă frecvență, după metoda lui V. P. Vologdin.* Metoda de încălzire a oțelului cu ajutorul curentului de înaltă frecvență studiată și propusă de membrul corespunzător al Academiei de Științe, V. P. Vologdin, se bazează pe următoarele: dacă în apropierea piesei de oțel se trece printr'un conductor un curent alternativ de înaltă frecvență, atunci în special în stratul superficial al obiectului se vor naște curenți care vor provoca încălzirea. După răcirea rapidă a suprafeței încălzite până la temperatura de călire, se obține un strat călit, a cărui adâncime depinde de timpul de trecere și de frecvența curentului.

Drept conductor de curent (inductor) servește un tub gol de cupru răcit în interior cu apă (fără răcire, conductorul se încălzește foarte puternic).

Cu ajutorul curentului de înaltă frecvență se pot încălzi nu numai suprafețele exterioare, dar și suprafețele interioare și obiectele de formă complicată. Pentru încălzirea suprafeței interioare a unui obiect de formă cilindrică, în interiorul lui se introduce inductorul, prin care se trece curentul de înaltă frecvență. Pentru încălzirea roților dințate, inductorul se execută sub formă de inel a cărui circumferință este identică cu cea a roții dințate, formând un joc (spațiu) de 0,5 ... 1 mm.



Trecând prin inductor curentul de înaltă frecvență, dinții se încălzesc la suprafață până la temperatura de călire, după care roata dințată se introduce în ulei sau în apă. Incălzirea suprafeței obiectului până la temperatura de călire se realizează în timp de câteva secunde.

Nu se poate încălzi deodată toată suprafața de călit, deoarece acest lucru necesită întrebuințarea unor instalații costisitoare și puternice. Costul instalației poate fi redus folosind metoda călirii ulterioare, care constă în deplasarea inductorului în mod treptat dela un capăt la celălalt (fig. 81). Inductorul poate fi fix, iar obiectul mobil cu o mișcare de translație. Porțiunile încălzite se răcesc cu apă. Variind viteza de mișcare a inductorului sau a piesei, se pot obține diferite adâncimi ale stratului călit. Metoda încălzirii consecutive permite să se facă călirea tablelor, șinelor, etc.

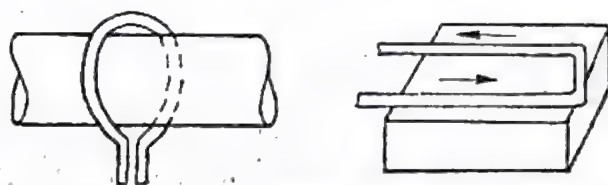


Fig. 81. Schema călirii unei piese cilindrice și a unei piese plate cu ajutorul unei spire.

Călirea superficială după metoda lui Vologdin se aplică pe o scară largă în industrie.

*Incălzirea cu ajutorul curentului electric, după metoda lui N. V. Geveling.* Profesorul N. V. Geveling a propus ca încălzirea suprafeței obiectului să se facă cu ajutorul curentului electric adus la suprafață cu ajutorul rolelor alunecătoare. Snb influența curentului electric, materialul se încălzește repede până la temperatura dată. S'a constatat că în locurile cu carburi, se naște rezistența care duce la ridicarea temperaturii și la disolvarea rapidă a carburilor în soluție solidă. Călirea se face cu ajutorul unui electrod mare (rolă) și a metalului rece.

Rolele late nu se întrebuințează, deoarece ele nu asigură un contact strâns între rolă și suprafața ce urmează să fie tratată termic. Afară de aceasta, în cazul rolelor late, este nevoie de transformatori de putere mare.

Dacă obiectul se rotește (de exemplu la strung), iar rolele se mișcă pe o linie în spirală (șurub), astfel ca acestea, după fiecare turație a obiectului, să acopere parțial stratul deja călit, se obține o suprafață călită după o linie în spirală. La punctul de contact se formează o fâșie mică revenită, ceea ce constituie unul din neajunsurile acestei metode de călire superficială. Avantajul metodei lui Geveling constă în prețul de cost redus și în simplitatea instalației.

*Călirea cu ajutorul curentului electric, în jet de electrolit.* Călirea superficială cu ajutorul curentului electric, în jet de electrolit a fost realizată de inginerul Iasnogorotchi în una din uzinele de tractoare. Incălzirea piesei în rotație se face cu ajutorul curentului care trece printr'o soluție de 5...15% sodă calcinată ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ce se încălzește până la temperatura de 60°C și se scurge într'un jet dintr'o canulă. Trecând prin electrolit (soluție), curentul încălzește puternic suprafața

în locul de atingere a obiectului cu electrolitul. Aceasta se explică prin formarea în jurul obiectului a unui înveliș de hidrogen care, având o rezistență electrică mai mare, provoacă încălzirea metalului. Răcirea se face cu același electrolit.

## 28. Călirea izotermică și călirea în trepte a oțelului

În prezent s'a stabilit că asupra gradului și produsului de descompunere a austenitei suprarăcite, adică asupra obținerii componentelor structurali, influențează temperatura și timpul de menținere izotermică. În legătură cu această problemă a adus un mare aport în știință

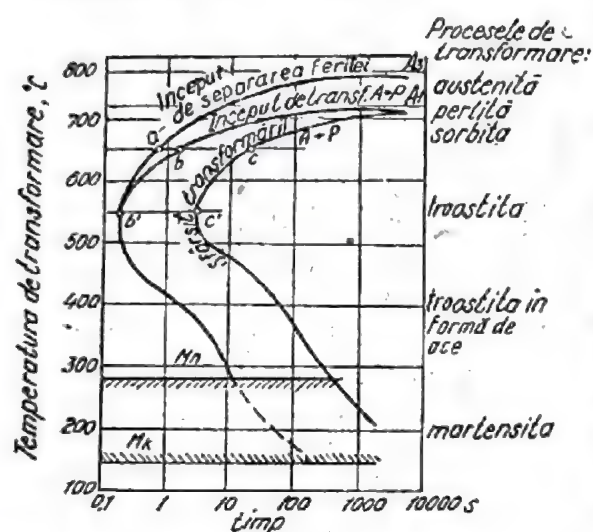


Fig. 82. Diagrama transformării izotermice a austenitei în oțel cu 0,5% C.

transformă în perlită (plus ferita în oțeluri hipoeutectoide). În cazul scăderii temperaturii de transformare izotermică apare treptat sorbita, troostita, troostita sub formă de ace și în sfârșit la temperatura sub 300 °C apare martensita.

Curbele izotermice au fost date la început sub forma literei S, dar mai târziu, datorită lucrărilor învățatului rus S. S. Steinberg, ele au fost precizate și în prezent au aspectul literei C (S. S. Steinberg a pus bazele noțiunilor teoretice ale tratamentului izotermic al oțelului). Temperatura începutului transformării austenitei în martensită a fost notată de S. S. Steinberg cu litera  $M_n$ , iar temperatura sfârșitului transformării cu litera  $M_k$ . Aceste temperaturi depind de compoziția chimică a oțelului și în special de conținutul în carbon. Influența carbonului se vede bine din curbele construite după datele diferite ale lui A. P. Guleaev și arătate în fig. 83. Cu cât conținutul în carbon este mai mare, cu atât punctele  $M_n$  și  $M_k$  se găsesc mai jos.

S. S. Steinberg a arătat că viteza de răcire sub punctul  $M_n$  nu are importanță, deoarece în toate cazurile aproape toată austenita

S. S. Steinberg împreună cu școala lui (V. D. Sadovschi, V. I. Ziuzin ș. a.). În funcție de temperatura de suprarăcire, austenita se poate transforma în martensită, în troostită, în sorbită sau în perlită. Viteza de transformare nu este aceeași și depinde de temperatura de suprarăcire. Cele spuse mai sus se evidențiază prin curbele din fig. 82, care caracterizează începutul și sfârșitul descompunerii austenitei suprarăcite la diferite temperaturi (A. P. Guleaev).

Din diagramă se vede că menținând austenita suprarăcită la temperatura de circa 700 °C ea se



se transformă în martensită. O răcire mai puternică sub punctul  $M_n$  micșorează cantitatea austenitei reziduale, adică favorizează formarea martensitei.

Formarea martensitei în oțeluri cu conținut ridicat de carbon se termină la temperaturi negative (sub zero).

Stabilitatea austenitei la temperaturi ridicate se folosește în industrie pentru aplicarea călirii isoterme sau călirii în trepte. Călirea în trepte constă în răcirea pieselor, la început până la temperatura stabilității maxime a austenitei (temperatura depinde de compoziția chimică), iar după aceea până la temperatura camerei. Această metodă asigură obținerea structurii martensitice.

Trebue remarcat că încă în anul 1885, D. C. Cernov a stabilit că oțelul de obuze se călește și are aceeași duritate ca și oțelul călit în apă, dacă răcirea bucății călite se face în aliaj de staniu și plumb la temperatura de 195...200 °C<sup>1)</sup>. Această descoperirea lui D. C. Cernov nu a fost luată în considerație și numai acum se utilizează răcirea în trepte. Ea permite într-o mare măsură eliminarea tensiunilor care iau naștere în timpul călirii obișnuite, micșorarea numărului de crăpături și eliminarea parțială a defectelor datorite îndoirii pieselor. Călirea în trepte se poate aplica cu succes oțelurilor aliate, care necesită o viteză de răcire mică pentru suprarăcirea austenitei. Pentru oțeluri carbon și oțeluri slab aliate, această viteză trebuie să fie mare și din această cauză călirea prin acest procedeu se poate aplica numai pieselor cu grosime mică.

În ultimul timp, pentru călirea în trepte se întrebuintează băi cu cloruri sau cu plumb, încălzite la diferite temperaturi.

Temperatura băii se poate alege astfel ca în timpul egalizării temperaturii în toată secțiunea piesei, austenita să nu se descompună. În acest caz, la răcirea ulterioară a piesei în aer, austenita se transformă în martensită pe toată secțiunea în același timp, fără să provoace apariția tensiunilor mari. Întrebuintarea băii cu cloruri drept mediu de răcire pentru călirea pilelor triunghiulare mici din oțel carbon

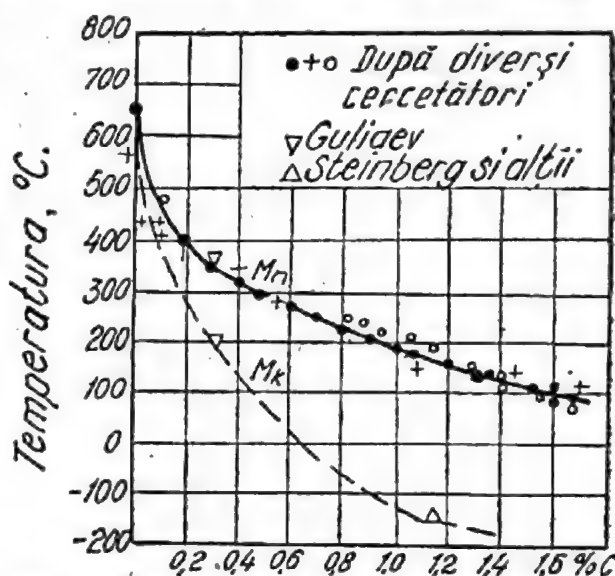


Fig. 83. Poziția temperaturii începutului ( $M_n$  și sfârșitului ( $M_k$ ) transformării martensitice, în funcție de conținutul de carbon.

<sup>1)</sup> D. C. Cernov. Despre fabricarea obuzelor de oțel contra blindajelor, Editura Societății Metalurgice Ruse, 1915.

cu 0,85...0,95% carbon a redus în una din fabrici aproape complet rebutul, în timp ce la călirea obișnuită rebutul ajungea până la 60...80%.

Trebue să se observe ca temperatura băii de răcire să fie puțin deasupra temperaturii începutului transformării austenitei în martenită ( $M_n$ ).

În fabricile din U.R.S.S. băile cu cloruri sau azotați se întrebuințează în general încălzite la temperatura de 210...220 °C. Piese se țin în baie minimum 5 minute; timpul maxim de menținere depinde de dimensiunile pieselor și temperatura băii. De exemplu piesele cu diametrul de 50 mm se recomandă să se mențină timp de 6 minute la temperatura de 210 °C, timp de 5 minute la temperatura de 250 °C și timp de 4 minute la temperatura de 300 °C. Piese cu diametrul de 75 mm se mențin potrivit temperaturilor de mai sus timp de 14, 12 și 11 minute. Aceste date trebuiesc privite ca date de orientare și durata de menținere trebuie precizată experimental. După menținerea corespunzătoare în baie, obiectele se răcesc în aer. Nu se recomandă accelerarea răcirii, deoarece se pot forma crăpături. Pentru îndepărtarea sărurilor după răcire piesele se spală în apă la temperatura de fierbere.

Metoda descrisă mai sus poate fi aplicată în cazul pieselor masive fabricate din oțeluri cu austenită destul de rezistentă în timpul răcirii lor până la temperatura băii. Aceasta este foarte important pentru miez, care se răcește cu viteză mai mică în comparație cu straturile exterioare. Pentru a aplica această metodă în cazul oțelului a cărui austenită este puțin rezistentă, piesele se răcesc la început foarte repede (de ex. în apă), apoi se trec în baia cu cloruri cu temperatura de 210 °C. Se observă că prin acest procedeu călirea în ulei se poate înlocui cu călirea în apă, dar trebuie să se observe ca toată apa de pe suprafața pieselor să se evaporeze înainte de introducerea lor în baia cu clorură. În caz contrar poate avea loc o explozie.

Pentru băile de răcire pot fi utilizate următoarele amestecuri de săruri:

- 1) 35% azotat de potasiu ( $\text{KNO}_3$ ) + 35% azotit de sodiu ( $\text{NaNO}_2$ ) + 30% azotat de bariu  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ . Temperatura de topire a acestui amestec este 160 °C.
- 2) 43% azotat de potasiu ( $\text{KNO}_3$ ) + 32% azotit de sodiu ( $\text{NaNO}_2$ ) + 7% azotat de bariu  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  + 9% azotat de stronțiu  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  + 9% azotat de calciu  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Temperatura de topire a amestecului este 100 °C.
- 3) 30% azotat de potasiu ( $\text{KNO}_3$ ) + 20% azotit de sodiu ( $\text{NaNO}_2$ ) + 10% azotit de litiu ( $\text{LiNO}_2$ ) + 10% azotat de bariu  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  + 30% azotat de stronțiu  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ . Temperatura de topire a amestecului este 125 °C.

Pentru a evita formarea crăpăturilor în timpul călirii pieselor masive cu formă complicată, se aplică călirea cu întrerupere. Această călire constă în faptul că piesele nu se răcesc complet în baia de



călire, ci se scot când temperatura lor atinge 250...300 °C. Apoi, piesele se răcesc în ulei sau în aer, sau se trec în cuptor pentru revenire. Această călire permite să se micșoreze viteza de răcire a oțelului în perioada când soluția solidă se transformă în martensită. Momentul scoaterii piesei din cuvă se poate stabili în mod practic cu ajutorul unui cuplu termic de suprafață, după evaporarea rapidă a lichidului de răcire de pe suprafața piesei, procedeu care necesită un personal rutinat. Temperatura de scoatere a oțelului depinde de compoziția lui chimică. Pentru oțeluri cu crom, nichel și molibden, timpul cel mai potrivit de menținere în mediul de răcire se poate stabili în modul următor: dacă chibritul trecut pe suprafața piesei se aprinde imediat, piesa mai trebuie ținută în mediul de răcire; dacă chibritul produce scântei, dar nu se aprinde, timpul de menținere în cuvă trebuie redus. Astfel, cu ajutorul unei piese sau a două piese se poate stabili timpul de menținere în mediul de călire.

Pentru a micșora tensiunile care iau naștere la formarea martenitei și pentru a obține o piesă bine călită în secțiune, se recomandă aplicarea călirii cu întrerupere, cu mai multe afundări. Piese mari se țin la început în cuva de călire timp de 40...80 secunde, apoi se scot în aer pentru 1,5...2 minute, se răcesc din nou în cuvă timp de 30...40 secunde ș. a. m. d. Cu cât forma obiectului este mai complicată, cu atât afundarea se face mai des și durata de menținere în cuvă se micșorează. Prin alegerea pe cale experimentală a timpului de menținere a pieselor în cuva de răcire și în aer se poate ajunge la concluzia că nu se vor forma crăpături chiar în cazul călirii pieselor cu construcție foarte complicată, a pieselor mari și a oțelurilor care crapă mai repede.

## 29. Tratarea oțelului călit la temperaturi sub 0 °C (negative)

S'a arătat mai înainte că, oțelul conține după călire o anumită cantitate de austenită. Prezența austenitei în oțelul călit scade proprietățile oțelului și provoacă schimbarea treptată a dimensiunilor în timpul funcționării pieselor.

Prof. A. P. Guleaev <sup>1)</sup> a stabilit că austenita reziduală trece aproape complet în martensită dacă, după călire piesele se vor răci până la temperaturi sub 0 °C.

Tratarea la temperaturi sub 0 °C micșorează variația dimensiunilor în timpul funcționării pieselor ceea ce are mare importanță, de exemplu în cazul roților dințate, șuruburilor conducătoare, etc. Tratarea oțelului la temperaturi sub 0 °C ridică rezistența la rupere și rezistența la

<sup>1)</sup> A. P. Guleaev. Tratarea oțelurilor la temperaturi sub 0 °C, — „Vestnic injenerov tehnico”, 1946, Nr. 4...5.



uzură cu 15-30%. După tratarea oțelului variația dimensiunilor este așa de mică, încât se găsește în limitele preciziei de măsurare.

S'a descoperit că tratamentul la temperaturi sub 0°C favorizează transformarea aproape completă a austenitei în martensită, în special dacă această operație se face înainte de revenire, imediat după călire.

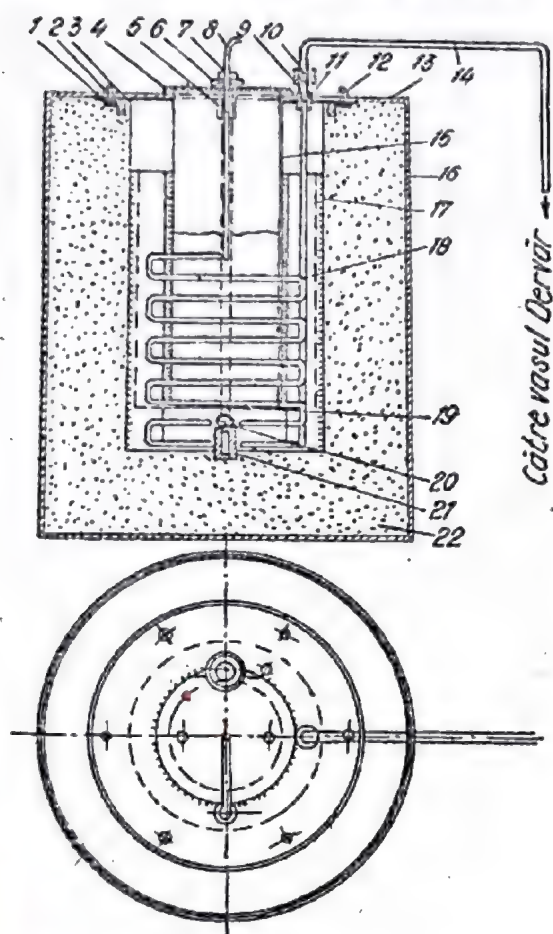


Fig. 84. Schema instalației pentru tratare la temperaturi sub 0°C (negative):

1 — disc; 2 — piuliță; 3 — garnitură de asbest; 4 — capac; 5 — bucsă; 6 — rondelă; 7 — prezon; 8 — cot; 9 — piuliță; 10 — piesă de legătură; 11 — bucsă; 12 — bulon; 13 — capac; 14 — tub; 15 — creostit; 16 — carcasă; 17 — pahar; 18 — serpentină; 19 — ax; 20 — prezon; 21 — crapodină; 22 — pământ de formare.

Totuși trebuie să se ia în considerație că transformarea austenitei în martensită este însoțită de apariția tensiunilor suplimentare, și acestea pot duce la formarea crăpăturilor în oțelul care nu a fost supus revenirii. În legătură cu aceasta se recomandă în cazul pieselor complicate ca o parte din tensiuni să fie scoase în prealabil prin revenire la temperatură joasă. Încălzirea pentru revenire nu se poate face în baie de ulei, deoarece uleiul rămas pe piese poate provoca explozii în timpul introducerii pieselor în aer lichid.

Temperatura corespunzătoare poate fi obținută cu ajutorul gheții uscate, a oxigenului lichid sau a aerului lichid. Instalația (fig. 84) pentru tratarea la temperaturi sub 0°C nu este complicată și poate fi adoptată în orice uzină de construcții de mașini.

Mentținerea oțelului la temperaturi negative trebuie să fie astfel încât să se asigure răcirea uniformă în toată secțiunea. Pentru majoritatea pieselor este suficient în acest scop 60-120 minute. Piese cu formă complicată se răcesc treptat, de exemplu la început până la temperatura de -20 grade.

În tabela 11 se dă duritatea oțelului cementat după 60 și 120 minute de menținere în oxigen lichid, după datele lui N. D. Asonov<sup>1)</sup>. Roțile dințate se cimentează, se călesc și se supun revenirii la temperatura de 180°C, apoi se supun răcirii în oxigen lichid.

Se recomandă să se supună tratamentului la temperaturi negative aparatele de măsură și sculele tăietoare cum și detaliile de construcție.

<sup>1)</sup> N. D. Asonov, Tratamentul termic al pieselor de automobil, Mașghiz, 1948.



Tabela 11

Variația durității oțelului în funcție de timpul de menținere în oxigen lichid

Duritatea după călire	Duritatea după o menținere de 60 min.	Duritatea după o menținere de 120 min.
48,5	56	65,5
50	56,5	60,5
50,5	56	62,5
51,5	56	63
49,5	56,5	65,5

Primele lucrări în legătură cu tratarea la temperaturi sub  $0^{\circ}\text{C}$  (negative) au fost executate de S. S. Steinberg, N. A. Minchevici, A. P. Guleaev, ș. a.

### 30. Gradul de călire al oțelului (sensibilitatea la călire)

De foarte multe ori este nevoie să se determine adâncimea de călire a diferitelor oțeluri. Gradul de călire (sensibilitatea la călire) se numește proprietatea oțelului de a fi călit (adică de a căpăta o duritate ridicată) în adâncime. Gradul de călire are importanță foarte mare în cazurile călirii pieselor mari. Gradul de călire redus al oțelurilor carbon și al oțelurilor slab aliate este un mare neajuns, deoarece nu permite întrebuițarea lor pentru fabricarea obiectelor mari, care trebuie să aibă proprietăți mecanice înalte.

Gradul de călire depinde de compoziția chimică a oțelului, de procedeul de fabricare, de mărimea granulelor oțelului, de mediul de răcire, de felul răcirii, de temperatura de încălzire înainte de călire, etc.

Oțelurile carbon, oțelurile cu siliciu, cu aluminiu și cu cupru dau un strat martensitic redus, în timp ce oțelurile cu molibden, cu crom, cu wolfram, cu mangan și în special cu nichel, dau un strat călit adânc. Ridicarea conținutului de carbon, mangan, crom, nichel, wolfram și molibden, favorizează adâncirea călirii. Totuși în practică s'a observat că oțelul cu aceeași compoziție chimică, dar provenit din șarje diferite, nu are aceeași proprietate de a se căli. Aceasta se explică prin mărimea diferită a granulelor oțelului și prin procedeele de fabricarea ale acestuia. Oțelul cu granule mari se căleşte în adâncime spre deosebire de oțelul cu granule mici care se supune greu călirii.

Câțiva ani în urmă se considera că gradul de călire al aceluiași oțel depinde numai de mărimea granulelor. În ultimul timp s'a stabilit că mărimea granulelor nu caracterizează întotdeauna gradul de călire și din această cauză uzinele care fabrică oțel au renunțat la determinarea gradului lui de călire numai după mărimea granulelor.

Există câteva procedee de determinare inițială a gradului de călire, procedee care permit să se dea destinația corespunzătoare oțelului pentru fabricarea diferitelor piese înainte de laminarea lui finală.

Un procedeu simplu pentru determinarea gradului de călire a oțelului este călirea epruvetelor arătate în fig. 85. Secțiunea epruvetelor este pătrată sau circulară și depinde de dimensiunile pieselor pentru care este destinat acest oțel. Cu cât secțiunea obiectului este mai mare, cu atât secțiunea epruvetei trebuie să fie mai mare. Tăietura ( $\alpha$ ) ușurează spargerea epruvetelor. Tăietura se face la polizor după călire, totuși ea se poate face și pe mașini. Lungimea epruvetelor trebuie să fie cel puțin de 2 ori mai mare decât diametrul (sau grosimea) pentru ca răcirea părților laterale să nu influențeze asupra gradului de călire.

După spargerea epruvetelor, o parte a spărturii se curăță la piatra de polizor și se măsoară duritatea cu ajutorul aparatului Rockwell, începând dela marginea tăieturii opuse către mijloc. Adâncimea stratului dur caracterizează gradul de călire al oțelului.

Gradul de călire se poate deduce și din aspectul spărturii, fără a măsura duritatea. Oțelul călit va avea o structură cu granule mici în toată secțiunea. Granulele mari din miez arată că gradul de călire este mic. Adâncimea de călire se poate determina și prin tratarea suprafeței lustruite cu soluție de 50% acid clorhidric. Porțiunile în care cantitatea de martensită scade până la 50%, prezintă altă culoare. În prezent se consideră drept adâncime de călire a oțelului, distanța dela suprafață până la stratul cu 50% martensită. Straturile cu mai puțină martensită se caracterizează deasemenea prin scăderea bruscă a durității.

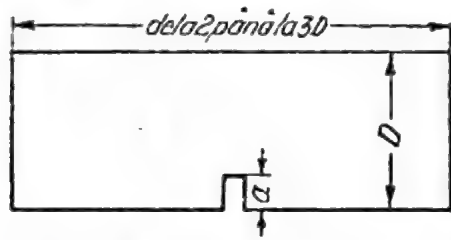


Fig. 85. Epruvetă pentru determinarea gradului de călire al oțelului.

Unele fabrici de scule fac controlul inițial al gradului de călire, cu ajutorul călirii oțelului la temperaturile de 760, 800, 850 și 900 °C. Pentru aceasta se prepară epruvete cu secțiunea 20×20 mm, care după aceleași condiții de încălzire se călesc în apă.

Pentru a da oțelului destinația corespunzătoare calității lui, oțelul din diferite șarje cu diametrul semifabricatelor mai mare de 15 mm, se împarte în grupe, în funcție de gradul de călire. Fiecărei grupe i se dă o anumită destinație, de exemplu una este destinată fabricării toroadelor, alta fabricării burghiilor, etc. (tabela 12).

Procedeele arătate mai sus nu sunt economice în cazul când trebuie să se găsească gradul de călire al oțelului în secțiuni mari, deoarece tăierea și spargerea bucăților călite mari este anevoioasă. O metodă mai bună este cea produsă în anul 1924 de academ. N. T. Gutțov și de ing. P. C. Silnițchi<sup>1)</sup>. Procedeu de determinare gradului de călire

<sup>1)</sup> Buletinul Institutului Central de Informație N. K. M. C. Nr. 8, Metalurgizat, 1944.



al oțelului se face cu ajutorul epruvetelor cu secțiune pătrată. Epruvetele de  $25 \times 25 \times 150$  mm se șlefuesc, se înfășoară la margini cu șnur de asbest și se acoperă cu un amestec de talc și caolină. Călirea se realizează prin afundarea epruvetei cu capătul neacoperit în apă sau prin trimiterea unui curent de apă pe suprafața frontală. Și într'un caz și în celălalt, răcirea se face la suprafața frontală. Măsurând duritatea pe suprafața epruvetei, începând dela capăt, se poate stabili gradul de călire al oțelului.

Tabela 12

Impărțirea oțelului în grupe, după sensibilitatea la călire și destinația acestor oțeluri pentru fabricarea sculelor

Nr. crt. grupelor	Temperatura de călire în °C				Destinația oțelului
	760	800	850	900	
	Adâncimea călirii în mm				
0	0,0—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—3,0	—
I	0,5—1	1—2	2—3	3—4	Pentru alezoare de toate dimensiunile și pentru burghie cu diametru până la 20 mm
II	1—2	2—3	3—4	4—5	Pentru burghie cu diametru până la 30 mm și pentru alezoare de toate dimensiunile
III	3—4	4—5	5—8	Călirea pătrunsă fără supraîncălzire	Pentru burghie cu diametru până la 38 mm și pentru toroade cu diametru de 20 mm
IV	4—6	6—8	Călirea pătrunsă fără supraîncălzire		Pentru burghie de toate dimensiunile și pentru toroade de dimensiuni mari
V	8—10	Călirea pătrunsă fără supraîncălzire		Călirea pătrunsă cu supraîncălzire și cu crăpături	Pentru burghie de toate dimensiunile

V. S. Vladislavlev, Întrebuințarea rațională a oțelurilor de scule după gradul lor de călire.  
„Oțelul calitativ”, 1935, Nr. 10.



După același principiu s'a elaborat în ultimul timp și metoda de călire frontală a epruvetelor cilindrice cu diametru de 25 mm și lungimea de 100 mm. Pentru suspendarea epruvetei în timpul călirii, unul din capetele ei este prevăzut cu o flanșă cu diametru de 30 mm și grosimea de 3 mm. În fig. 86 se arată o epruvetă standard și dispozitivul pentru călire după această metodă.

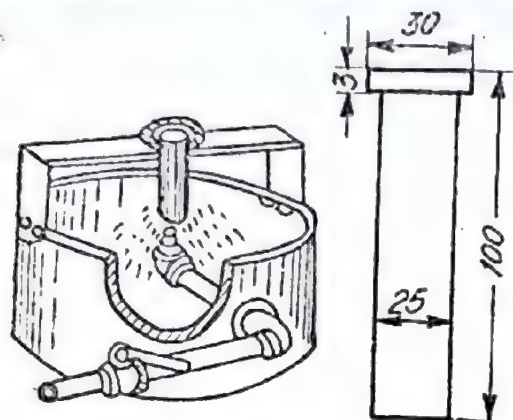


Fig. 86. Dispozitivul și epruveta pentru călire frontală.

Epruveta se încălzește cu  $25^{\circ}\text{C}$  deasupra punctului critic superior, se ține timp de 20 min. și se introduce în dispozitivul de călire. Diametrul găurii interioare a tubului care aduce apa este de 12,7 mm. Tubul se așează la distanța de 12,7 mm de la capătul epruvetei. Presiunea apei se reglează cu un ventil astfel, ca în lipsa epruvetei coloana de apă să se ridice la înălțimea de 63 mm. Epruveta se răcește minimum 10 min. și se introduce în apă.

Din ambele părți ale epruvetei se scoate prin șlefuire un strat de metal adânc de 0,4 mm, ceea ce permite îndepărtarea stratului decarburat. Măsurarea durității pe suprafețele obținute se face peste 1,5 mm.

Pentru a evita formarea pe suprafața frontală a țunderilor (oxidurilor de fier) care influențează viteza de răcire, încălzirea epruvetelor se face în șpan de fontă sau în dispozitive speciale.

Pentru prepararea epruvetelor, oțelul se supune în prealabil normalizării la temperatura cu  $65^{\circ}\text{C}$  deasupra punctului critic superior.

## CAPITOLUL VI

### REVENIREA OȚELULUI CĂLIT

#### 31. Influența revenirii asupra proprietăților oțelului

Piesele călite sunt fragile și au proprietăți mecanice proaste. Din această cauză ele se întrebuințează foarte rar ca atare. De obicei, toate piesele călite se supun revenirii. Revenirea este operația prin care oțelul călit se încălzește până la punctul  $A_{c1}$ , fiind supus apoi la o răcire rapidă sau înceată.

Prin revenire se poate elimina în primul rând fragilitatea și tensiunile provenite în timpul călirii și în al doilea rând se poate schimba microstructura, adică austenita se transformă în martensită, martensita



în troostită și troostita în sorbită, ceea ce schimbă proprietățile mecanice ale metalului. Explicarea teoretică a operațiilor care au loc în timpul revenirii a fost dată de G. V. Curdiumov.

Revenirea, în funcție de temperatura de încălzire, poate fi: revenire la temperatură joasă, revenire moderată și revenire la temperatură ridicată.

Revenirea joasă se face la temperatura de 150...300 °C. În timpul încălzirii la această temperatură, martensita începe să treacă în troostită (se spune că martensita se găsește în faza de descompunere), ceea ce se observă prin întunecarea acelor de martensită.

Revenirea moderată la temperatura de 300...400 °C duce la descompunerea martensitei formându-se structura troostitică.

Revenirea înaltă se caracterizează prin apariția sorbitei și se realizează prin încălzire până la temperatura de 500...680 °C.

Schimbând structura oțelului, revenirea schimbă și proprietățile lui. Caracterul schimbării proprietăților depinde de structura inițială pe care a avut-o oțelul după călire (austenită, martensită).

Oțelul fără revenire și oțelul cu revenire la temperatură joasă (100 °C) are limita de curgere scăzută, deasemenea și rezistența la rupere. La început aceste caracteristici cresc. Aceasta se explică prin eliminarea tensiunilor care sunt proprii oțelului călit. Odată cu ridicarea temperaturii de revenire, rezistența la rupere, limita de curgere și duritatea scad, iar alungirea, contracția și reziliența cresc (fig. 87 și fig. 88).

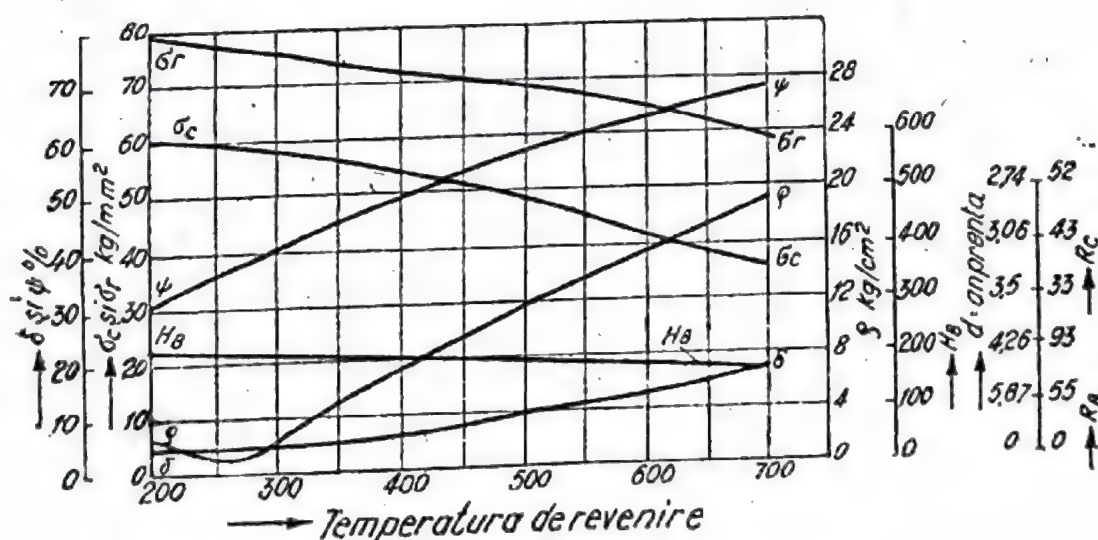


Fig. 87. Influența temperaturii de revenire asupra proprietăților mecanice ale oțelului 35.

Câteodată revenirea se face odată cu călirea, utilizând o singură încălzire pentru ambele tratamente. Pentru aceasta piesa nu se ține

în mediul de răcire până la răcirea completă, ci se scoate când în interiorul ei mai rămâne căldura necesară pentru revenire. Nu se poate recomanda acest procedeu deoarece este foarte greu de stabilit de

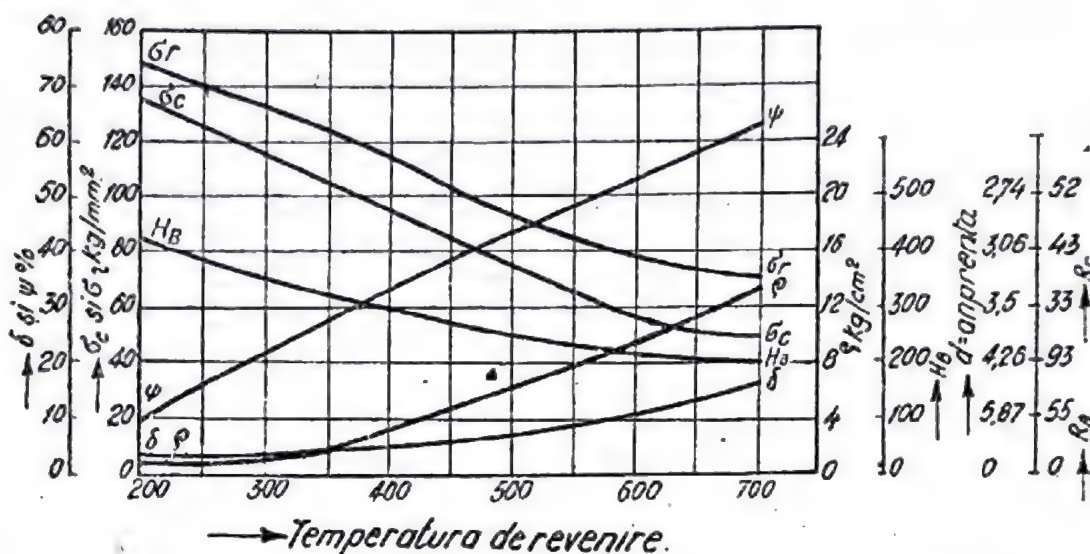


Fig. 88. Influența temperaturii de revenire asupra proprietăților mecanice ale oțelului 50.

fiecare dată câtă căldură a rămas în piesă și dacă această căldură este suficientă pentru o revenire corectă.

### 32. Temperatura de revenire și timpul de menținere

Piese se supun tratamentului termic de revenire în intervalul de temperaturi de la 150...680 °C. Piese care prin natura funcționării lor trebuie să fie dure, sunt supuse revenirii la temperaturi de 150...200 °C. Dacă obiectele trebuie să aibă tenacitate ridicată, ele se supun revenirii la temperatură înaltă (500...680 °C).

În timpul încălzirii de la 200 la 330 °C, pe suprafața piesei apar pelicule de oxid a căror culoare depinde de temperatura și de timpul de încălzire (culori de revenire). Fiecărei culori a peliculei îi corespunde o anumită temperatură.

Stabilirea temperaturii după culorile de revenire este dificilă deoarece această metodă necesită multă experiență, iar rezultatul depinde de grosimea peliculei, adică de timpul de menținere. Afară de aceasta, piesele se șlefuesc la suprafață. De obicei temperatura se măsoară cu ajutorul pirometrelor și termometrelor speciale.

În anexa I se dau temperaturile de revenire pentru diferite obiecte.

Încălzirea pieselor în timpul revenirii se face pe cât posibil încet, deoarece oțelul călit are tensiuni mari, iar încălzirea rapidă favorizează obținerea crăpăturilor. Piesa încălzită până la temperatura de revenire se ține câțva timp la această temperatură. Acest timp depinde de dimensiunile piesei și anume: cu cât piesa are dimensiuni mai mari,



cu atât timpul pentru egalizarea temperaturii în toată secțiunea este mai mare. Afară de aceasta, piesele din oțeluri speciale necesită un timp de menținere mai mare datorită conductibilității termice scăzute.

Cu toate că condițiile de răcire după revenire în cazul oțelurilor carbon nu au importanță așa de mare ca în cazul oțelurilor aliate, se recomandă ca răcirea să se facă în aer pentru a evita posibilitatea formării tensiunilor interne. Totuși pentru unele feluri de oțeluri aliate, în special pentru oțelul cu crom și nichel, viteza de răcire după revenire are o importanță foarte mare. În aceste cazuri, în timpul răcirii încete, materialul poate să devină fragil (fig. 118).

## CAPITOLUL VII

### TRATAMENTUL TERMO-CHIMIC AL OȚELULUI

#### 33. Cementarea

Cementarea constă în saturarea cu carbon a stratului exterior al piesei. Procesul cementării este bazat pe difuziune, adică pe tendința carbonului de a pătrunde în oțelul solid la temperaturi înalte.

Cementarea are ca scop obținerea pieselor cu un strat exterior dur și rezistent la uzură, păstrând însă un miez moale. Suprafața dură rezistă mai bine la uzura prin frecare, în timp ce miezul moale asigură pieselor o mare plasticitate, ceea ce este important în special în cazul când în timpul lucrului se produc lovituri și șocuri.

Aceste proprietăți ale pieselor cementate au asigurat cementării o largă răspândire în diferite ramuri ale construcției de mașini.

Stratul exterior dur se obține după călirea pieselor cementate, în apă. El este tot atât de dur ca și oțelul pentru scule, în timp ce miezul pieselor se păstrează moale.

Pentru obținerea celor mai bune rezultate la cementare, este necesar să se țină seamă de următoarele:

- 1) alegerea corectă a oțelului pentru piesele care vor fi supuse cementării;
- 2) alegerea carburizatorului corespunzător cu ajutorul căruia se va face cementarea;
- 3) o bună împachetare a pieselor;
- 4) un regim corect al tratamentului termic în timpul și după cementare (temperatură, durată, metodă de răcire).

Trecem acum la analiza fiecărui factor în parte.

#### 34. Oțeluri pentru cementare

Deobicei, pentru fabricarea pieselor cementate se întrebuintează un oțel cu conținut mic de carbon. Un astfel de oțel, fiind încălzit

până la temperatura de călire, nu-și mărește duritatea la o răcire rapidă, ceea ce asigură pieselor obținerea unui miez moale.

Oțelul pentru cementare trebuie să fie lipsit de impurități, să nu aibă sguri, incluziuni de gaze, zone de segregatie sau alte defecte.

Conținutul în fosfor și sulf nu trebuie să fie mai mare de 0,04%.

Oțelul cu conținut mai ridicat de carbon, se întrebuițează pentru piesele care nu sunt supuse la eforturi considerabile în timpul lucrului.

Pentru piesele supuse în timpul lucrului la eforturi mari, se întrebuițează oțeluri aliate cu conținut redus de carbon.

La alegerea oțelului pentru cementare, este necesar să se țină seamă de secțiunea transversală a pieselor și anume de constatarea că cu cât secțiunea transversală este mai mare, cu atât miezul pieselor este mai moale.

### 35. Amestecuri de carburare (carburizatori)

Alegerea carburizatorului cu ajutorul căruia se va face cementarea este un factor esențial pentru obținerea unei piese cementate de calitate superioară.

Există foarte multe rețete pentru prepararea carburizatorilor, dar toate, într'un fel sau altul, conțin carbon.

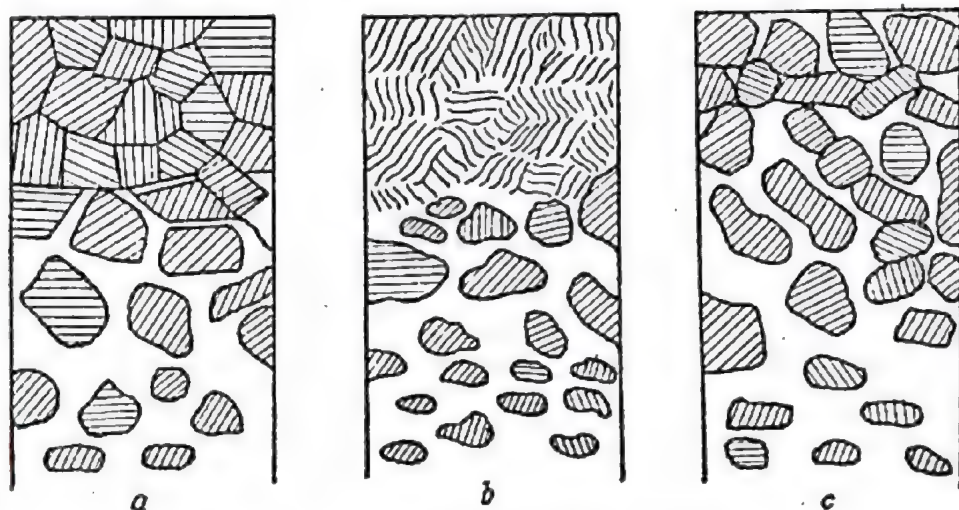


Fig. 89. Compoziția stratului cementat :  
a — hipereutectoid ; b — eutectoid, și c — hipoeutectoid.

Carburizatorul poate fi sub formă de praf, de lichid sau de gaz. El trebuie să fie astfel ales încât să producă o carburare uniformă pe întreaga suprafață a piesei.

Carburizatorul nu trebuie să acționeze rapid, deoarece în acest caz în stratul superior se obține un conținut mare de carbon și se formează o trecere bruscă dela stratul dur cementat spre stratul moale, ceea ce poate provoca apariția fisurilor la călire și separarea stratului carburat.



Din alt punct de vedere carburizatorul nu trebuie să acționeze nici prea încet, întrucât în acest caz procesul cementării se prelungește și, datorită acestui fapt se mărește costul cementării și se micșorează volumul capacității de prelucrare a atelierului.

Trebuie folosit carburizatorul care poate face ca stratul superficial să fie format numai din perlită (fig. 89, b).

Carburizatorul nu trebuie să conțină elemente dăunătoare oțelului, deoarece la temperaturi înalte, acestea pătrund în material și-i scad calitatea.

Primul loc din categoria elementelor dăunătoare îl ocupă sulful și fosforul.

Carburizatorul nu trebuie să se epuizeze repede; capacitatea lui de cementare trebuie să se păstreze timp îndelungat. În caz contrar, nu se va putea obține o adâncime de cementare suficientă chiar la o încălzire prelungită.

Este necesar a alege un carburizator care poate fi utilizat de mai multe ori, adăugându-se cantități neînsemnate de preparat proaspăt.

Substanța de cementare nu trebuie să se taseze prea mult după întrebuințare, deoarece o contractare considerabilă va reclama o cheltuială inutilă de carburizator și prin aceasta va mări costul de producție al procesului.

Carburizatorul nu trebuie să fie dăunător pentru cei din jur.

Bazându-ne pe proprietățile fiecărui carburizator și ținând seama de cerințele impuse anumitor piese, carburizatorul se prepară adăugându-se permanent sau o nouă cantitate proaspătă sau numai elemente separate care intră în compunerea lui.

Cel mai răspândit carburizator este amestecul din șasezeci părți cărbune de lemn și patruzeci părți carbonat de bariu, socotite în greutate.

În tabela 13, sunt date câteva rețete de prepararea carburizatorilor.

Tabela 13

Compoziția carburizatorilor

Denumirea substanței componente	Nr. carburizatorului									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cărbune de lemn	60	40	90	—	90	—	—	50	70	70
Cărbune de corn	—	—	—	40	—	10	33	—	—	—
Cărbune de os	—	—	—	20	—	60	—	—	—	30
Piele carbonizată	—	—	—	20	—	—	67	20	—	—
Sare de bucătărie	—	—	10	—	—	—	—	—	10	—
Carbonat de potasiu	—	—	—	—	10	—	—	—	20	—
Carbonat de bariu	40	60	—	—	—	—	—	—	—	—
Scoarță de copac	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—
Funingine	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—
Sodă calcinată...	—	—	—	20	—	—	—	—	—	—

De multe ori în compoziția carburizatorului se introduce cocsul. De obicei, la a doua întrebuițare a carburizatorului se adaugă 25% carburizator proaspăt.

Amestecul substanțelor componente se face pe două căi:

1) Amestecul de cărbune și cocs fărâmițat se umezește în tobă și apoi i se adaugă celelalte componente în stare uscată.

2) Amestecul de cărbune și cocs se umezește cu soluția de săruri amestecată cu melasă sau o soluție de oxid de calciu.

În al doilea caz este necesar ca amestecul să se usuze într'un cuptor cu toba rotativă; se obține astfel o calitate superioară, deoarece în procesul de cementare carburizatorul se contractă puțin.

O largă întrebuițare are carburizatorul cunoscut sub numele de carburizator de Bondiuj și care are următoarea compoziție:

Carbonat de bariu . . . . .	20 ... 25%
Sodă . . . . .	3 ... 5%
Cocs . . . . .	5%
Cărbune de lemn . . . . .	restul

Umiditatea acestui carburizator ajunge până la 5%.

### 36. Pregătirea pieselor pentru cementare și împachetarea lor în cutii

Suprafața pieselor supuse cementării trebuie să fie netedă, curată, fără urme de rugină sau pete de ulei, deoarece prezența ruginii și a petelor de grăsime vor împiedica pătrunderea carbonului în aceste locuri, producând astfel pete noi pe suprafața pieselor.

Uneori sunt supuse cementării numai anumite părți dintr'o piesă. În asemenea cazuri se recurge la lipirea cu un amestec de argilă refractară și alte substanțe, sau la acoperirea cu un strat subțire dintr'un metal oarecare, a acelor locuri care nu trebuie să se cimenteze, sau se lasă în aceste părți un adaus de metal care după cementare se înlătură.

Pentru o bună aderență a argilei, piesele se leagă în prealabil cu sârmă și apoi se aplică un strat de argilă de 3...5 mm grosime.

În tabela 14 este arătată compoziția amestecurilor de lipit (în procente), folosite în practică.

Frecvent însă argila crapă și, astfel, nu poate proteja totdeauna piesa împotriva pătrunderii carbonului.

Cele mai bune rezultate în acest sens îl dă următorul amestec socotit în greutate: cinci părți talc, două părți argilă refractară și două părți apă.

Acest amestec se diluează cu silicat de sodiu astfel ca să permită acoperirea pieselor cu pensula.

Asbestul mărunț amestecat cu silicat de sodiu protejează bine împotriva cementării.



Amestecul se aplică pe piesă în stare densă, deslipindu-se foarte greu după cementare.

Acoperirea piesei trebuie să se facă cu un strat mic, care se va usca încet înainte de a introduce piesa în cuptor pentru cementare.

Tabela 14

Compoziția amestecurilor de lipit (în ‰)

Nisip	Argilă	Tetraborat de sodiu	Silicat de sodiu (Wasserglas)	Salpetru de sodiu	Oxid de plumb	Praf de șmirghel	Praf de cupru
—	—	—	—	—	—	33	67
36	37,5	19	—	3,5	4	—	—
41	43	10	—	3	3	—	—
—	50	—	50	—	—	—	—
33	67 <sup>1)</sup>	—	—	—	—	—	—

<sup>1)</sup> Acest amestec se diluează cu silicat de sodiu (Wasserglas).

Cea mai bună acoperire se consideră aceea care nu crapă la temperatură înaltă, aderă bine pe piesă și asigură pretutindeni o bună protejare contra acțiunii de pătrundere a carbonului.

Este posibil să se execute operația și invers, acoperindu-se suprafețele supuse cementării și lăsându-se descoperite părțile nesupuse cementării.

În acest scop se întrebuițează paste, care sunt substanțe de cementare.

Pentru o astfel de pastă de acoperire se poate indica următorul amestec; două părți de ferrocianură de potasiu și o parte de bicromat de bariu cu dextrină.

Trebuie notat că de obicei paste se crapă și se deslipesc de piesă, ceea ce duce la cementare inegală a suprafeței.

Acest procedeu se poate folosi numai în cazul când construcția piesei împiedică aplicarea unei cementări obișnuite.

Cu toată întrebuițarea învelișurilor protectoare, carbonul pătrunde totuși în piesă și de aceea, în loc să se folosească acoperirea, uneori se lasă la dimensiunile piesei un adaus de 2...3 mm care se îndepărtează după cementare.

În acest caz părțile prelucrate rămân moi după călire.

În unele cazuri se întrebuițează de asemenea inele și alte piese asemănătoare, care protejează unele părți din piesă contra pătrunderii carbonului.

Ele trebuie să fie cu 3...5 mm mai late decât locurile apărute.

Pentru a putea sparge ușor inelele de protecție, grosimea acestora trebuie să fie de 2...3 mm și în orice caz cel puțin egală cu adâncimea de cimentare presupusă.



Fig. 90. Protecția locală contra cimentării.

În afară de aceasta a pune un inel sau a prelucra o parte din piesă la strung, nu este totdeauna posibil după cimentare.

Protejarea unor părți din piesă contra cimentării prin aplicarea unui strat de alte metale, cu toate că este foarte costisitoare, destul de complicată în producție și necesită metale care nu se topesc la temperaturile de cimentare, dă în schimb rezultate foarte bune.

Pentru acest procedeu se întrebuițează în special cuprul, care se aplică pe piesă prin unul din următoarele moduri: prin galvanizare, prin afundarea în soluții de săruri de cupru și prin metalizare.

Trebuie amintit că cel mai sigur procedeu de protecție contra cimentării este acoperirea cu cupru prin galvanizare, deoarece prin al doilea procedeu (afundarea piesei în soluție) cuprul se depune neuniform și în afară de aceasta uneori stratul de cupru se cojește.

Pentru acoperirea piesei cu cupru se aplică uneori procedeul metalizării: metalul topit este proiectat cu presiune mare cu ajutorul unui aparat special și acoperă cu un strat continuu piesa așezată în bătaia curentului de metal.

Pentru protecția contra cimentării se mai poate întrebuița o vopsea compusă dintr-o parte monoclorură de cupru și două părți de tetraoxid de plumb (miniu de plumb).

Un kilogram de acest amestec se disolvă în 170 cm<sup>3</sup> dintr-o soluție de lac de bachelită și spirt<sup>1)</sup>.

La intervale de 10...15 min, se aplică pe piesele curate două straturi de vopsea în grosime totală de 0,7...1,0 mm.

Piesele pot fi împachetate în cutii, după întărirea ultimului strat (după 20...30 min dela aplicare).

La încălzire se produce reducerea aliajului de cupru-plumb.

Cimentarea pieselor se face în cutii de fontă sau oțel moale bine închise și lipite cu argilă (pentru piese cilindrice se întrebuițează țevi în loc de cutii).

Dimensiunile cutiilor trebuie să permită o așezare comodă a pieselor, însă întrebuițarea unor cutii prea mari nu se recomandă de-

Piulițele înșurubate pe ghivent (fig. 90) îl protejează bine contra cimentării.

Cu toate că ultimele procedee sunt mai sigure, decât acoperirea pieselor, sunt însă mult mai scumpe și cer o prelucrare mai complicată.

oarece acei pereți se în mijlocul

Cutiile speciale. C

Cu că ționare cre

Pentru pereții ext

Uneor cială, rezis

Este : față. Alita

împreună la care al

peretele cu se distribu

Înainte de carburi

Piesel spațiu de

Cu că cimea de să fie mai

După se preseaz

Ultimu (50...100

ajustat soli

Carbu piese. În c

cimentare

Pentru capacului

După Uneor

în acest m tare, ceea

Cutiile uniform în

Din ac așează pe c

cutiile se n

<sup>1)</sup> Tehso, seria 16, 1940, Nr. 706.





oarece acestea se încălzesc greu uniform, astfel că piesele așezate lângă pereți se încălzesc mai ușor și se cimentează mai tare decât cele așezate în mijlocul cutiilor.]

Cutiile de cementare se fac din fontă, oțel moale turnat și aliaje speciale. Grosimea pereților lor trebuie să fie de circa 20...30 mm.

Cu cât pereții cutiilor sunt mai groși, cu atât durata lor de funcționare crește.

Pentru protejarea cutiilor împotriva oxidării, se recomandă ca pereții exteriori să fie acoperiți cu un strat subțire de argilă.

Uneori cutiile se fac din fontă, oțel sau alte aliaje de calitate specială, rezistente la căldură.

Este avantajos să se folosească cutii de cementare aliate la suprafață. Alitarea constă în aceea că suprafața cutiei de oțel se încălzește împreună cu praf de aluminiu până la temperatura de 900...1000 °C, la care aluminiul pătrunde în oțel și formează un strat care protejează peretele cutiei împotriva acțiunii gazelor atât timp, până când aluminiul se distribuie în tot oțelul.

Înainte de a se încălca piesele, se toarnă pe fundul lăzii un strat de carburizator de 40...55 mm grosime și se presează bine.

Piesele sunt aranjate în cutii astfel ca între ele să rămână un spațiu de 10...30 mm iar între ele și pereți, un spațiu de 20...25 mm.

Cu cât piesele pentru cementare sunt mai masive și cu cât adâncimea de cementare este mai mare, cu atât distanța între piese trebuie să fie mai mare.

După aceasta, primul rând de piese se acoperă cu carburizator, se presează ușor și se așează din nou un rând de piese etc.

Ultimul rând se acoperă cu un strat mai gros de carburizator (50...100 mm) și se presează, după care cutia se închide cu un capac ajustat solid la margini.

Carburizatorul trebuie presat, pentru ca el să adere uniform la piese. În caz contrar, carburizatorul insuficient presat va duce la o cementare cu pete.

Pentru ca aerul să nu pătrundă în cutie, încheeturile și marginile capacului se lipesc cu argilă refractară.

După ce lipitura se usucă, cutiile sunt așezate în într'un cuptor rece.

Uneori cutiile sunt așezate în cuptor cu capacul în jos, deoarece în acest mod se menține mai bine presiunea gazelor formate la cementare, ceea ce accelerează procesul.

Cutiile trebuie astfel aranjate încât gazele calde să cuprindă pereții uniform în toate părțile.

Din această cauză, dacă cutiile nu au piciorușe speciale, ele se așează pe suporturi. În cuptoarele moderne cu funcționare continuă cutiile se mișcă în cuptor în mod automat cu o viteză determinată.

După încărcarea cutiilor ușile cuptorului se lipesc și se începe încălzirea cuptorului până la temperatura de cementare.

Durata de menținere la temperatura de cementare depinde de adâncimea de cementare cerută, de compoziția oțelului și de temperatură.

### 37. Temperatura de încălzire la cementare, durata și tratamentul termic ulterior

La trecerea prin punctul  $A_{c1}$  perlita se transformă într-o soluție solidă. Prin urmare, din acest moment începe absorbirea carbonatului de către oțel; deoarece însă în acest timp cantitatea de soluție solidă este foarte neînsemnată cementarea va decurge încet.

La urcarea ulterioară a temperaturii cantitatea de soluție solidă se mărește deaceia cementarea se face mai repede.

Oțelul, întrebuințat pentru fabricarea pieselor care vor fi supuse cementării (dela 0,08 până la 0,25 % carbon), conform diagramei de echilibru, va avea soluția solidă la temperaturi înalte, ceea ce condiționează o temperatură ridicată de cementare (cel puțin 900 °C).

În practică se folosește temperatura de 920 ... 975 °C.

Nu se recomandă însă să se ridice prea mult temperatura, deoarece aceasta contribuie, în primul rând, la obținerea unei structuri cu granule mari, iar în al doilea rând, la temperaturi înalte de cementare, și la mărirea conținutului de carbon în stratul superficial până la 1,4 ... 1,5 %.

Cementita în exces se distribuie sub formă de rețea (fig. 54, a) și are drept consecință apariția fragilității.

Conținutul optim de carbon în oțel corespunde compoziției sale eutectoide.

Adâncimea carburării depinde în mare măsură de temperatură și de durata de cementare (tabela 15).

Tabela 15

Adâncimea stratului carburat în funcție de temperatura și durata (în ore) de cementare (carburizator cu 30% carbonat de bariu)

Temperatura de cementare în °C	Grosimea stratului carburat în mm							
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
870	3,5	7	10	13	16	19	22	25
900	3	6	8	10	12	14	16	18
930	2,75	5	6,5	8	9,5	11	12,5	14
955	2	4	5	6	7	8,5	11	11,5
980	1,5	3	4	5	6	7	8	9
1 000	1	2	3	4	5	6	7	8



O durată prelungită la temperatura de cementare atrage după ea mărirea granulelor și condiționează fragilitatea pieselor.

Pentru înlăturarea fragilității, piesele cementate se supun unui tratament termic complicat.

După cementare piesele de importanță secundară se răcesc până la  $750 \dots 760^\circ\text{C}$  și se călesc imediat.

Deoarece acest procedeu dă multe rebuturi din cauza crăpăturilor, precum și din cauză că se obține o producție de calitate inferioară, acest tratament nu poate fi recomandat.

În cazul pieselor principale, cutiile cu piese se răcesc împreună cu cuptorul sau în aer, dându-se preferință, din multe considerente, procedului din urmă.

Pentru a înlătura fragilitatea și structura cu granulație mare a oțelului, aceste piese sunt supuse la un tratament după una din metodele următoare:

1) recoacerea pieselor cementate la  $850 \dots 900^\circ\text{C}$  ținând cont de compoziția chimică, cu răcire ulterioară în aer și apoi călire la  $760^\circ\text{C}$ ;

2) prima călire la  $850 \dots 920^\circ\text{C}$  și a doua călire la  $760^\circ\text{C}$ .

Pentru a ne da seama de fenomenele ce se petrec în acest timp în oțel, trebuie să avem în vedere că piesa cementată este compusă din straturi diferite: miezul cu conținut neînsemnat de carbon și stratul exterior cu conținut ridicat de carbon.

Recoacerea după primul procedeu face ca miezul cu conținut mic de carbon să capete o structură cu granulație mărunță, dar această încălzire este prea mare pentru stratul exterior bogat în carbon și atrage după sine o creștere mare a granulelor.

Încălzirea înainte de călire până la  $760^\circ\text{C}$  face ca și acest strat să capete o granulație mărunță și în același timp nu influențează asupra mărimii granulelor din miez.

În acest fel, printr'un asemenea tratament termic, atât miezul cât și stratul exterior al piesei vor avea o structură cu granulație mărunță.

Prima călire făcută după metoda a doua are scopul în primul rând să dea miezului interior o structură cu granulație mărunță și în al doilea rând să obțină în stratul exterior o structură martensitică fără exces de cementită.

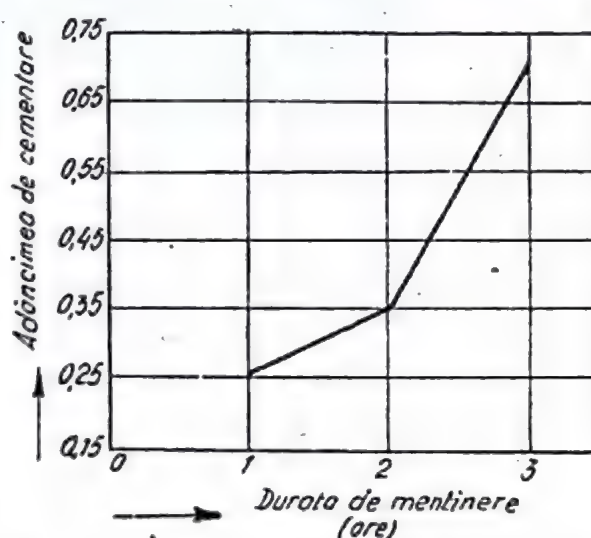


Fig. 91. Adâncimea stratului de cementare la oțelului 20 H.

Călirea la  $760^{\circ}\text{C}$  face ca stratul exterior să capete o structură cu granulație mărunță și dură.

Piesele cementate după călire se supun unei reveniri la temperaturi joase ( $160\ldots 200^{\circ}\text{C}$ ).

În cazul când este nevoie de un strat cementat nu prea mare, se poate folosi cementarea în carburizator lichid.

În acest scop se folosește o baie compusă din  $75\ldots 85\%$  sodă ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) și  $10\ldots 15\%$  sare de bucătărie ( $\text{NaCl}$ ).

După dissolvarea băii, i se mai adaugă  $6\ldots 10\%$  carbură de siliciu ( $\text{SiC}$ ).

Aceasta, intrând în acțiune cu soda, se descompune cu formarea de carbon în stare atomică, care produce cementarea.

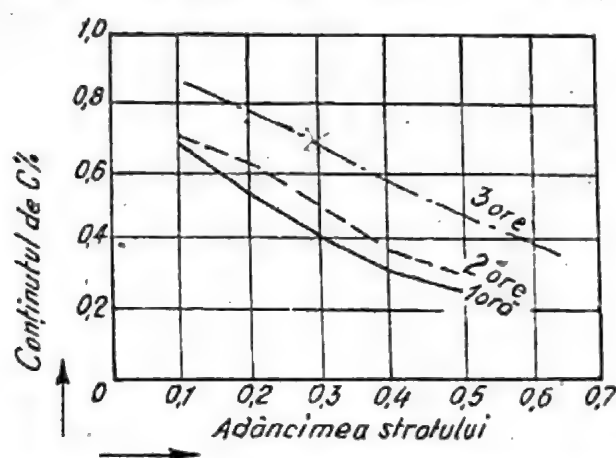


Fig. 92. Distribuția carbonului în adâncimea stratului de oțel 20 H <sup>1)</sup> supus unei cementări în carburizator lichid timp de 1, 2 și 3 ore.

arătată în fig. 91, iar distribuția carbonului în adâncime este ilustrată de fig. 92 (după datele lui E. M. Morozova și E. D. Spivac).

O cementare puțin adâncă se execută deasemenea în săruri disolvate cu adăugare de substanțe cianice.

După acest procedeu, piesele se încălzesc până la  $800\ldots 900^{\circ}\text{C}$  și se țin de la 5 până la 50 minute.

În acest caz, grosimea stratului carburat se obține de la 0,10 până la 1,0 mm, iar conținutul în carbon de la 0,6 până la 0,9%.

### 38. Determinarea dimensiunilor granulelor oțelului cu ajutorul cementării

Mărimea granulelor are o influență considerabilă asupra calității oțelului.

Granulele pot fi reale sau pot fi transformate.

<sup>1)</sup> 20 H = Oțel carbon 0,20% + Crom.



Granulele pe care le are oțelul la temperatura normală și care nu se modifică la încălzirea până la punctul  $A_{c1}$ , se numesc reale sau efective.

Granulele care se formează în procesul de încălzire, menținere la temperatură înaltă și răcire a oțelului în condițiuni determinate, se numesc transformate. Ele pun în evidență tendința de creștere a granulelor.

Cea mai accentuată tendință de creștere o posedă granulele oțelului de compoziție eutectoidă.

Granulele oțelului cu conținut redus de carbon crește încet, cu toate că temperatura de încălzire este înaltă.

Granulele oțelurilor hipereutectoide cresc mai repede la încălzire, decât granulele oțelurilor cu conținut redus de carbon, însă mai încet decât granulele oțelurilor eutectoide.

Oțelul cu granule mari posedă calități mecanice inferioare, însă se călește, se laminează și se prelucerează la mașini-unelte mai bine.

În cazul folosirii unei strunjiri brute poate fi convenabil din punct de vedere economic să se obțină în oțel o granulație mare cu ajutorul încălzirii până la temperaturi înalte, urmând apoi ca după prelucrarea la strung să se supună piesele sau semifabricatele unui tratament termic în condițiuni normale, pentru a se obține o granulație mărunță.

Oțelurile cu granule mari produc ușor fisuri la călire, au tendință spre încovoiere și modifică în mod simțitor dimensiunile pieselor. Aceasta are importanță în tratamentul termic al pieselor cu formă complicată (de exemplu al roților dințate) și al pieselor cu dimensiuni precise.

Oțelurile cu granule mărunte nu se prelucerează bine la strung, în schimb rezistă bine la lovituri și permit să se obțină după călire piese cu încovoieri mici.

Compoziția chimică, precum și procesul de elaborare al oțelului are influență asupra vitezei de creștere a granulelor, adică asupra granulelor transformate sau naturale.

În cazuri izolate, la aceeași compoziție chimică însă la condițiuni diferite de elaborare a oțelului, granulele transformate nu sunt identice.

O viteză mică de creștere a granulelor din oțelul cu granulație mărunță naturală, se explică prin prezența unor combinațiuni chimice extrem de mărunte, care ajung în oțel în timpul topirii sau turnării.

Oțelurile ale căror granule au tendință de creștere se cimentează la o adâncime mare și posedă o capacitate de călire ridicată.

Cea mai bună metodă de determinarea dimensiunilor granulelor a fost elaborată de S. S. Steinberg.

Această metodă constă în încălzirea unei probe fin lustruită până la temperaturi înalte fără acces de aer. La o astfel de încălzire pe suprafața lustruită apare o rețea foarte fină, conturând clar marginile granulelor.

O metodă mai simplă și mult mai răspândită, însă mai puțin precisă, constă în relevarea tendinței de creștere a granulei cu ajutorul cementării.

O deosebită influență asupra preciziei determinării prin această metodă a granulei transformate, o exercită viteza de răcire după cementare.

Dacă viteza de răcire va fi diferită, se poate întâmpla ca cementita sau ferita să nu aibă timp să se separe pe toate marginile granulelor, iar granula va pare mai mare decât era la temperaturi înalte.

În funcție de tendința și creșterea granulelor sale la încălzire mai sus de  $A_{c3}$ , oțelul se împarte în opt grupe (fig. 93).

Dacă oțelul are granule mari și mărunte, se marchează cu două numere.

Pentru determinarea dimensiunilor granulelor se ia o bucată de oțel, se curăță bine una din suprafețe și se cimentează cu un carburizator puternic (40% carbonat de bariu și 60% cărbune de lemn).

Epruvetele se încălzesc în acest amestec 8 ore la  $925^{\circ}\text{C}$  și apoi se răcesc încet.

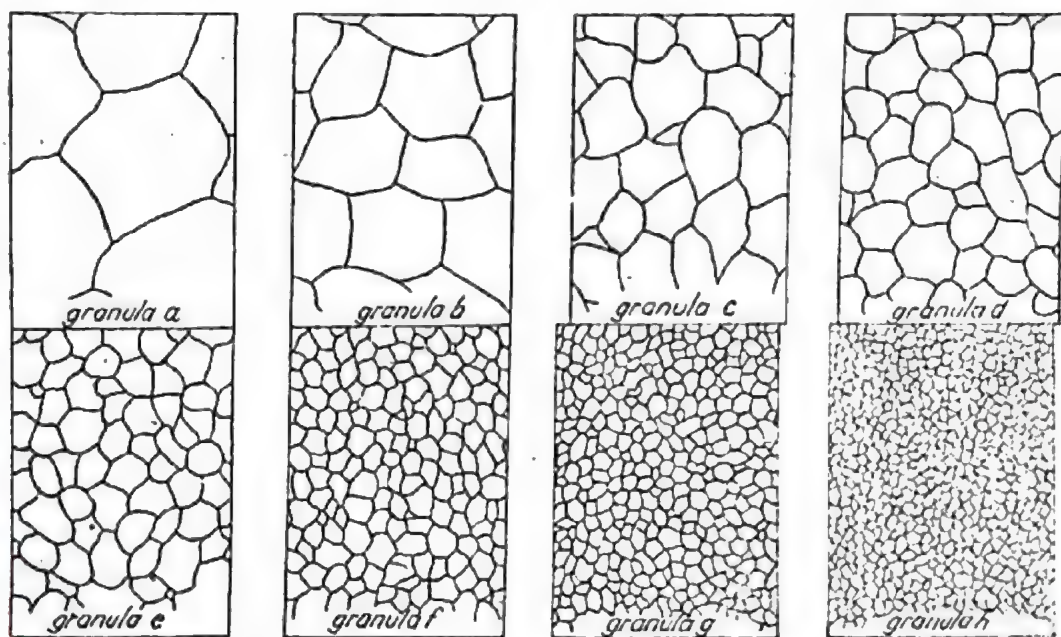


Fig. 93. Scara dimensiunilor granulelor oțelului.

În urma unui atare tratament cementita se separă în stratul superficial sub forma unei rețele pe marginile granulelor, ceea ce permite să se stabilească ușor dimensiunile acestora cu ajutorul microscopului.

În acest scop se confecționează o epruvetă lustruită și după tratare cu o soluție de acid azotic 4%, se examinează la o mărire de o sută de ori.

Stabilind numărul de granule cuprinse la această mărire într'un țol pătrat, se determină numărul granulelor oțelului, după scară (fig. 93).



Viteza de răcire până la 600 °C are o mare influență asupra con-  
turării clare a dimensiunilor granulelor.

Se dă mai jos timpul de răcire dela 930 °C până la 600 °C a  
unor calități de oțel:

oțeluri obișnuite și cele puțin aliate	3 ore
oțeluri aliate medii de tipul 20 HN 3 (0,20 C + Cr + 3% Ni)	4 ore
oțeluri aliate superioare cu 1,5% C și 4% Ni	16 ore
oțeluri aliate superioare cu 3% Ni	8 ore

Un țol pătrat (la o mărire de 100 ori) cuprinde următorul număr  
de granule:

Nr. 1—1	Nr. 3—4	Nr. 5—16	Nr. 7—64
Nr. 2—2	Nr. 4—8	Nr. 6—32	Nr. 8—128 și mai mult.

Obținerea unui oțel topit cu o granulație determinată constă în  
introducerea unei cantități determinate de reducători (aluminii, zir-  
coniu, vanadiu).

De exemplu, pentru a obține un oțel cu carbon cu granula Nr. 3—4,  
trebuie adăugat, în căldarea de turnare, aluminii în cantitate de  
75—100 gr la 1 tonă.

### 39. Cementarea în carburizator gazos

În ultimul timp a început să se introducă, foarte frecvent, în pro-  
ducție cementarea cu ajutorul gazelor.

În comparație cu cementarea în carburizatori solizi, cementarea cu  
gaze are următoarele avantaje:

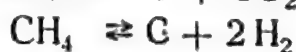
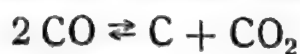
- 1) se scurtează durata procesului de 3—4 ori;
- 2) se micșorează costul în urma accelerării încălzirii, eliminării  
operațiunilor în legătură cu împachetarea în cutii și scăderii consu-  
mului de combustibil;
- 3) se ameliorează condițiile de lucru.

La cementarea în carburizator gazos în unele cazuri (timp de  
menținere scurt) piesele pot fi călite imediat după cementare.

Pentru cementare se folosesc substanțe gazoase: acetilenul, gazul  
de iluminat, metanul, oxidul de carbon, precum și gazele obținute din  
cracarea petrolului și a păcurii.

Gazul de iluminat se consideră cea mai bună substanță de ce-  
mentare, în care caz cementarea decurge slab la temperatura de  
700—900 °C, însă se accelerează la 1050 °C și atinge punctul său  
culminant la 1100 °C.

La cementarea gazoasă se produc următoarele reacțiuni:



Carbonul pătrunde în interiorul oțelului.

Cementarea în carburizator gazos, în comparație cu cementarea în carburizator solid, permite să se obțină o carburare mai adâncă fără cementită în exces.

Gazul pentru cementare se introduce printr-o parte a cuptorului și iese prin cealaltă parte.

Pentru o cementare uniformă a pieselor, cuptoarele se construiesc adesea turnante (metoda de obținere a gazelor este descrisă în Cap. IV).

#### 40. Azotarea oțelului

Azotarea sau nitrurarea constă în saturarea cu azot a suprafeței piesei, ceea ce îi dă o mare duritate.

Ea are scopul de a mări stabilitatea suprafeței piesei împotriva uzurii, de a păstra miezul moale și de a proteja piesele împotriva încovoierii.

Azotarea a fost studiată și aplicată prima oară în U.R.S.S. de N. P. Cijevski.

La azotare, piesele care au fost supuse călirii, unei reveniri înalte și șlefuirii, se încălzesc timp de 15...50 h la o temperatură de 480...550 °C, în cuptoare-mufe prin care trece un curent de amoniac (fig. 94).

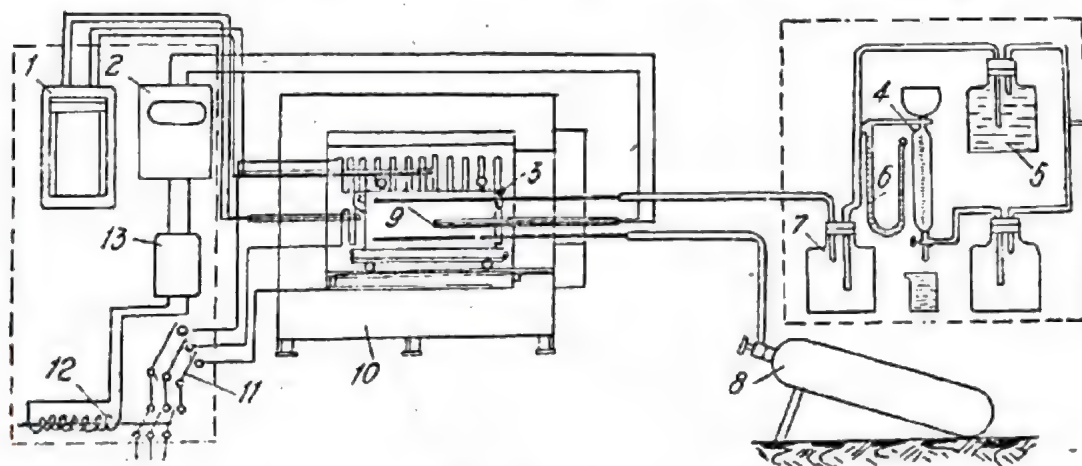


Fig. 94. Schema procesului de azotare:

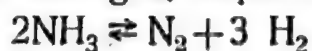
- 1 — galvanometru cu înregistrare automată; 2 — galvanometru de control; 3 — container;  
4 — disoceletr; 5 — sticlă cu apă; 6 — tub gradat pentru măsurare; 7 — sticlă goală;  
8 — tub cu amoniac; 9 — cuptor termoelectric; 10 — cuptor pentru nitrurare; 11 — întrerupător; 12 — ascensor; 13 — releu de oprire.

În unele cazuri azotarea se face timp de 80...90 ore.

La azotarea timp de 50 ore la 510 °C, adâncimea azotării ajunge la 0,35...0,40 mm.

După azotare piesele se răcesc încet și sunt date în lucru fără nici un alt tratament termic.

O parte din amoniac, se descompune (disociază) la temperatura de 480...530 °C în azot și hidrogen, după formula:





Azotul pătrunde în oțel formând combinații chimice dure (azoturi).

La începutul azotării trebuie menținut un grad redus de disociere a amoniacului, deoarece în caz contrar se produce o cantitate mare de hidrogen, care produce o decarburare și concomitent cu aceasta micșorează viteza de pătrundere în oțel a azotului.

Pentru determinarea gradului de disociere al amoniacului, disociometrul se umple cu gazul întrebuitat și apoi se introduce apă în el.

Deoarece apa disolvă integral amoniacul și nu disolvă aproape de loc azotul și hidrogenul care se formează la disocierea amoniacului, se determină gradul de disociere al amoniacului prin spațiul liber neocupat de apă.

Procesul azotării este mai simplu decât procesul cementării.

Din cauză că la azotare piesele nu sunt supuse unei încălziri prea ridicată, încovoierea lor aproape că nu se produce.

Deoarece modificarea de volum la azotare este mică și mai uniformă decât la cementare, aproape întotdeauna piesele se șlefuesc înainte de azotare.

La o azotare timp de 25, 50 și 75 ore la temperatura de 520 °C, grosimea pieselor crește respectiv cu 0,01, 0,015 și 0,020 mm.

În aceste condiții, adâncimea de azotare a stratului atinge 0,20, 0,35 și 0,55 mm.

În fig. 95 sunt date curbele care arată influența temperaturii și a duratei de azotare asupra durității și adâncimii stratului.

Procesul de azotare permite să se obțină piesele cele mai complicate ca formă cu un strat exterior foarte dur și în același timp să se păstreze dimensiunile exacte.

Piesele azotate își păstrează duritatea la încălzire până la 500 °C.

Rezultate bune se obțin numai la azotarea oțelurilor speciale (nitroloy).

Oțelul 38 XMIUA pentru azotare, specificat în GOST, conține 0,35...0,42% C; 1,35...1,65% Cr; 0,15...0,25% Mo și 0,7...1,1% Al.

Aluminiul înlesnește difuzarea azotului în oțel și obținerea unei durități superioare la suprafață, cromul mărește rezistența, duritatea și adâncimea stratului nitrurat, iar molibdenul înlătură fragilitatea

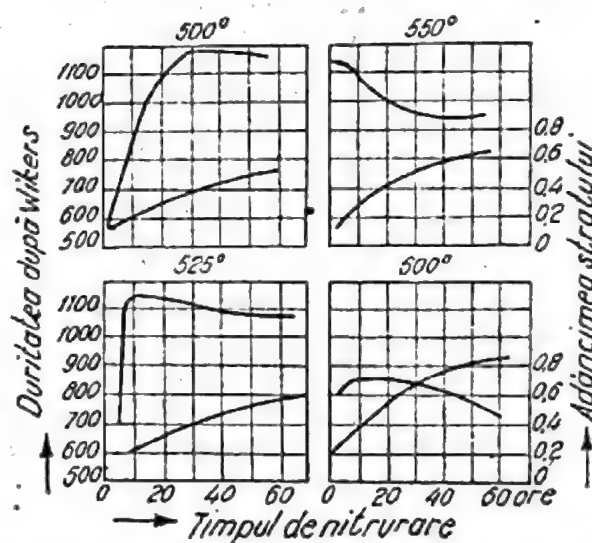


Fig. 95. Duritatea și adâncimea stratului azotat în funcție de temperatură și de durata procesului (Lahtin)

care poate lua naștere la o încălzire prelungită la temperatura de  $480\cdots 550^\circ\text{C}$  și o răcire lentă a oțelului după azotare.

Duritatea pieselor azotate cade brusc în secțiune (fig. 96), ceea ce nu permite să se aplice această metodă în cazul unei încălziri mari a suprafeței.

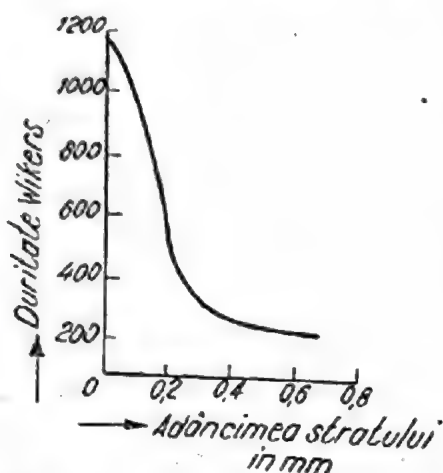


Fig. 96. Variație în duritatea stratului nitruat după adâncime (E. M. Morozova și E. D. Spivac).

Piese de mașini azotate, care lucrează în praf suferă mai puțin de uzură decât cele cementate.

De exemplu, lanțul de transmisie azotat al unui autocamion a lucrat neîntrerupt zece luni în condițiuni grele, în timp ce un lanț cementat a rezistat numai șase luni în aceleași condiții.

Pentru a micșora duritatea procesului, azotarea se face la început la  $500\cdots 520^\circ\text{C}$  și apoi la  $600^\circ\text{C}$ .

Cu toate că printr'un asemenea procedeu se obține o duritate ceva mai mică decât în regimul obișnuit de azotare,

în schimb ea se distribuie mai uniform și durata procesului se reduce cu  $1,5\cdots 2$  ori (pentru oțelul care conține aluminiu).

În ultimul timp azotarea își găsește întrebuințare pentru mărirea rezistenței pieselor supuse unor încărcări variabile, fabricate din oțeluri cu crom-molibden, crom-nichel-molibden și alte oțeluri aliate.

În cazurile când se azotează numai unele părți ale piesei, părțile care nu se azotează sunt acoperite.

Acoperirea se face cu ajutorul staniului, a silicatlui de sodiu (Wasserglas), a aliajelor de staniu cu  $30\%$  plumb, a vopselelor, etc.

Staniul sau aliajul de staniu și plumb, se topește la temperatura de azotare și se menține pe piese prin forța tensiunii superficiale.

Dacă azotarea se produce la temperatura de  $480\cdots 530^\circ\text{C}$ , stratul de staniu trebuie să fie de  $0,005\text{ mm}$ , iar la temperatura de  $600^\circ\text{C}$ , de  $0,05\text{ mm}$ .

Acoperirea cu staniu se poate face prin galvanizare sau prin metoda încălzirii, însă prin ultima metodă se consumă o cantitate mai mare de staniu.

Deoarece staniul la topire se întinde pe suprafață și acoperă parțial părțile care urmează să fie supuse azotării, se poate recomanda ca aceste părți să fie acoperite cu o peliculă de fosfat.

Staniul nu aderă la această peliculă și înafară de aceasta, fosfatul accelerează procesul de azotare.

Întrebuințarea vopselelor se bazează în majoritatea cazurilor de azotare pe faptul că staniul sau plumbul care intră în compoziția vopselei, se reduce până la stare metalică, protejând astfel suprafața împotriva pătrunderii azotului.



Ca exemplu de astfel de acoperiri, poate fi vopseaua compusă din șase părți  $\text{SnO}$ , o parte glicerină și o cantitate mică de soluție de acid clorhidric cu amoniac <sup>1)</sup>.

Silicatul de sodiu folosit pentru protecția contra azotării se prepară cu adăus de clorură de potasiu.

Piese acoperite cu silicat de sodiu trebuie bine uscate înainte de azotare.

Azotarea se folosește uneori în scopul de a proteja metalele împotriva coroziunii.

În acest caz, regimul de azotare depinde de compoziția chimică a oțelului.

De exemplu, azotarea unui oțel cu conținut redus de carbon se face la o temperatură de  $700^{\circ}\text{C}$  (gradul de disociere al amoniacului  $60\%$ ) timp de 30 de min; oțelurile U 7 și U 10 se azotează la  $780\text{--}790^{\circ}\text{C}$  timp de 7...10 min (gradul de disociere al amoniacului  $75\%$ ).

După o azotare de acest gen piesele se răcesc în apă și apoi sunt supuse la o revenire potrivit cerințelor tehnice.

#### 41. Cianurarea

Procesul de saturare a suprafeței oțelului în mod concomitent cu carbon și azot se numește cianurare.

Cianurarea, ca și cementarea, are scopul de a obține la suprafață o mare duritate și rezistență la uzură și de a păstra totodată un miez moale.

Cu tot conținutul neînsemnat de carbon în stratul dela suprafață al pieselor cianurate, ele obțin după călire o duritate mare. Aceasta se explică prin prezența azotului în acest strat în cantitate de  $0,5\text{--}0,8\%$ .

De pildă, oțelul moale ( $0,04\%$  carbon) după cianurare și călire, având în stratul dela suprafață  $0,3\%$  carbon și  $0,5\%$  azot, obține o duritate egală cu duritatea unui oțel cu  $1\%$  carbon.

Pot fi cianurate orice fel de oțeluri, însă rezultate foarte bune se obțin la folosirea oțelurilor cu crom.

La cianurarea unui oțel de crom-nichel, în stratul superficial apar după călire loturi de austenită, care micșorează duritatea piesei.

La o revenire ușoară austenita trece în martensită, ceea ce produce creșterea durității.

Siliciul micșorează viteza de cianurare și de aceea conținutul lui în oțel nu trebuie să depășească  $0,4\%$ .

Cianurarea se poate face în săruri topite, conținând compuși ai azotului cu carbonul, cu ajutorul gazelor (cianurare prin gaze) și în substanțe solide.

<sup>1)</sup> S. F. Iuriev, Azotarea oțelului și folosirea lui în construcția de tractoare și automobile. ONTI 1938.

În comparație cu cementarea, cianurarea are următoarele avantaje :

- 1) Durata procesului se micșorează de câteva ori.
- 2) Se elimină necesitatea împachetării pieselor în cutii.
- 3) Se elimină nevoia unor cuptoare mari pentru cementare.
- 4) Având în vedere acțiunea rapidă a cianurilor, durata de menținere a pieselor în baie se întinde să fie așa de neînsemnată, încât grăunulele oțelului nu au timpul necesar de creștere până la dimensiuni mari, de aceea călirea unor astfel de piese se poate face îndată după cianurare, fără o încălzire suplimentară.

5) Piese cianurate au o suprafață curată, de culoare deschisă.

Procesul de cianurare are însă și unele părți negative, precum :

1) Volatilitatea sărurilor de cian, vaporii lor fiind foarte vătămători pentru sănătatea muncitorilor; baia cu astfel de săruri este necesar să fie acoperită cu un clopot prevăzut cu un coș cu tiraj puternic.

2) Scăderea bruscă a conținutului de carbon în secțiunea piesei.

3) Formarea spumei la suprafața băii ceea ce nu permite să se facă o încălzire parțială a pieselor.

4) Apariția la suprafața pieselor a unui strat de  $\text{CaO}$  care se îndepărtează greu prin spălare, ceea ce necesită o spălare minuțioasă în apă fierbinte.

5) Ruginirea (oxidarea) piesei, deși a fost bine spălată în prealabil.

6) Având în vedere volatilitatea sărurilor care conțin compuși cu cian, este necesar să fie adăugat în baie 1...2% săruri de cian după fiecare 1,5—2 ore.

La cianurarea în mediu lichid, piesele se afundă în baia care conține săruri de cian și se mențin la temperatura de cianurare de la 5 la 240 min (în funcție de adâncimea necesară).

Din cauză că durata la cianurare este de obicei neînsemnată, cianurarea se face la o temperatură mai ridicată decât temperatura de călire cu 20...30 °C.

În majoritatea cazurilor, răcirea se face în apă și mai rar în uleiuri minerale.

Nu se pot întrebuința uleiuri vegetale, deoarece, sub influența produselor sărurilor de cian, aceste uleiuri se saponifică și prin aceasta împiedică obținerea unei căliri puternice.

În majoritatea cazurilor durata variază între 10 și 15 min.

O încălzire mai prelungită în baie poate duce la formarea unui strat fragil la suprafață.

Se recomandă să se facă o încălzire prealabilă a pieselor până la temperatura de călire, iar apoi se afundă pentru 15...120 s în baia de cianurare.

După călire piesele sunt supuse unei reveniri la 150 °C...170 °C.

În timpul cianurării, la temperaturile de 500...700 °C, se produce la început nitrurarea (pătrunderea azotului în oțel) și apoi la creșterea



temperaturii începe procesul de carburare, în timp ce intensitatea nitrurării scade.

Mediul lichid pentru cianurare este format din săruri de cian: ferocianura de potasiu  $[K_4Fe(CN)_6]$ , cianura de potasiu (KCN), cianura de sodiu (NaCN), cianura de calciu  $[Ca(CN)_2]$ , amestecate în diferite proporții cu sodă, clorură de sodiu, clorură de calciu sau clorură de bariu.

De obicei sărurile de cian se întrebuintează împreună cu soda și sarea de bucătărie care servesc drept catalizatori (acceleratorii procesului) și concomitent cu aceasta micșorează emanarea vaporilor de cian.

În tabela 16 este dată compoziția sărurilor cu cianură de sodiu.

Primele patru amestecuri de săruri se întrebuintează în calitate de adausuri pe măsura epuizării băilor în funcțiune.

Ultimele amestecuri se întrebuintează fără adausul suplimentar de săruri neutre.

Nu se recomandă să se lucreze cu băi care conțin mai mult de 35% cianură de sodiu sau potasiu, deoarece aceasta nu duce aproape deloc la accelerarea cianurării și nu ameliorează calitatea straturilor cianurate.

Tabela 16

Compoziția sărurilor de cian

Nr. amestecului	Cianură de sodiu	Soda	Sare de bucătărie
I	97,5	2,5	—
II	75	15	10
III	65	15	20
IV	55	25	20
V	45	35	20
VI	30	30	40
VII	30	40	30

Notă. Sărurile arătate conțin în calitate de adaus bicarbonat de sodiu, oxid de fier și sulfură de sodiu.

Acțiunea băii de cianurare aproape că nu se schimbă la micșorarea conținutului în cianură de sodiu până la 15%.

Nu se recomandă să se întrebuinteze nici băi foarte sărace în cian.

O asemenea baie se epuizează repede, ceea ce se va resimți asupra calității cianurării.

Mai mult încă, baia de cianurare prea epuizată va decarbura piesele.

Este necesar să se controleze concentrarea băii de două ori în cursul unui schimb și să se încarce periodic baia cu săruri concentrate de cian.

Pentru micșorarea epuizării sărurilor de cian, se recomandă să se adauge în sarea topită cărbune presat sau grafit care reduc parțial sărurile de cian.

Băile cu cianură de sodiu trebuie să lucreze la temperatura de 780 ... 850 °C.

A le încălzi la temperaturi mai înalte nu este economic, deoarece se produce o evaporare considerabilă a sărurilor de cian.

Stratul cianurat conține 0,4 ... 0,7% carbon. Conținutul în azot depinde de concentrarea cianurii de sodiu sau potasiu din baie.

De exemplu, la o baie care are 30% cianură de sodiu sau potasiu, conținutul azotului în stratul dela suprafață ajunge la 0,8%, în timp ce acest conținut scade până la 0,55% în cazul când concentrarea băii va scădea la 15%.

Adâncimea stratului cianurat depinde de compoziția și temperatura băii, de dimensiunile piesei și de durata încălzirii.

Cu cât piesa care se încarcă în aceeași baie este mai mare, cu atât adâncimea cianurării este mai mică și va fi deasemenea mai mic și conținutul în azot și carbon în stratul dela suprafață.

Greutatea pieselor încărcate nu trebuie să depășească 50% din greutatea sării.

La o încălzire în săruri ce conțin cianură de sodiu sau potasiu, cianurarea decurge încet și după un timp de 15 ... 30 de min adâncimea stratului cianurat ajunge la 0,08 ... 0,20 mm.

La mărirea duratei de cianurare, adâncimea se schimbă puțin.

De exemplu, folosind o baie din 50% cianură de sodiu și 50% sodă, la o temperatură de 850 °C nu se poate obține un strat cianurat de 1,0 mm adâncime chiar în timp de 5 ore.

Tabela 17 cuprinde date despre adâncimea și duritatea stratului în funcție de temperatură și durata de cianurare.

Tabela 17

Adâncimea și duritatea stratului cianurat în funcție de temperatura și durata cianurării (Cazachevici)

Durata în minute	825 °C		860 °C		890 °C	
	Adâncimea de cianurare	Duritate Rc	Adâncimea de cianurare	Duritate Rc	Adâncimea de cianurare	Duritate Rc
30	0,08	25	0,16	38	0,30	49
60	0,10	30	0,25	47	0,40	58
180	0,15	35	0,33	59	0,60	64
240	0,20	43	0,40	62	0,80	64

Pentru accelerarea procesului cianurării se recomandă să se adauge în baie clorura de stronțiu sau stronțiu cu carbon în cantitate de 20%.



Se poate obține un strat mai adânc întrebuintând săruri care conțin cianură de calciu (circa 45 %).

Astfel de săruri se numesc „cianură neagră“.

O compoziție în acest fel se întrebuintează în industria din U.R.S.S.

Ea conține (în %):

CN	Cl	Ca	Na	CN <sub>2</sub>	C	S	Alte adausuri
20...22	20	32,5	12	2...3	5,5	1,0	2...3

Intrebuintarea cianurii negre permite să se obțină un strat cianurat mare; de exemplu, un strat cu adâncime de 0,8 mm ce se poate obține în timp de 3 ore.

Cianurile se introduc în baie într'un coș cu găuri, acoperit. Uneori cianurile nu se introduc integral, operația făcându-se prin introducerea mai multor cantități parțiale mai mici.

Spuma neagră care se formează se îndepărtează cu un căuș.

Această spumă este formată din carbon amorf.

Înainte de a se scoate piesa din baie de cianurare este necesar să se înlătore cu grijă spuma de pe suprafața sării, deoarece prezența acestei pelicule (pietrei de calcar) lipite de piese contribuie la apariția petelor moi.

La afundarea piesei în baie trebuie să se observe ca pe suprafața piesei să nu existe apă, deoarece în acest caz poate să se producă o explozie din cauza formării vaporilor.

Dăm câteva exemple de pregătirea băilor pentru cianurare.

1) Se topește circa 35% (în greutate) sare de bucătărie și 65% clorură de calciu, se ridică temperatura până la 760°C...780°C și se introduce în baie 0,5...1% sare de cian, care conține:

cianamidă de calciu (CaCN <sub>2</sub> )	2,0... 5,0%
cianură de calciu [Ca(CN) <sub>2</sub> ]	33,0...36,0%
cianură de sodiu (NaCN)	10,0...12,0%
sare de bucătărie (NaCl)	30,0...35,0%
oxid de calciu (CaO)	14,0...16,0%
carbon	4,0... 5,0%

O asemenea baie permite să se lucreze la temperatura de 775°C...900°C, fiind necesar să se adauge 1% sare de cian, după fiecare oră.

Încălzind în această baie la 900°C un oțel cu 0,20% carbon și 0,45% mangan, se poate obține următoarea grosime a stratului cianurat:

la o încălzire de 45...60 min	până la 0,25... 0,30 mm;
la o încălzire de 60...90 min	până la 0,30... 0,42 mm;
la o încălzire de 90...120 min	până la 0,42... 0,55 mm.

Mărirea duratei de menținere peste durata arătată mai sus aproape că nu schimbă adâncimea de cianurare, însă contribuie la formarea unei mari cantități de cementită în stratul dela suprafață.

2) Se amestecă 65% sare de bucătărie cu 35% sodă, și se încălzește compoziția până la 820°C.

În soluția lichidă a sărurilor se adaugă 3,5% săruri de cian, în cantități mici. După aceea se urcă temperatura băii până la 850 °C ... 870 °C (temperatura de călire).

Se menține baia la această temperatură circa două ore pentru topire și amestecarea sărurilor de cian și apoi se înlătură un strat mic de spumă dela suprafață; o parte din spumă se lasă la suprafață pentru protejarea băii împotriva arderii carbonului.

Pentru cianurare în această baie piesele se împart pe grupe, după compoziția chimică:

- 1) oțeluri carbon moi, cu conținut de carbon între 0,15 ... 0,25 %;
- 2) oțeluri cu duritate mijlocie cu conținut de carbon de 0,25 ... 0,35 %;
- 3) oțeluri dure, cu conținut de carbon de 0,35 ... 0,45 %.

Adâncimea cianurării după o durată de 25 ... 60 min ajunge la 0,15 ... 0,30 mm și nu se formează la suprafață cementită liberă.

După două ore de funcționare i se adaugă băii săruri de cian (20% din greutatea întregii băi).

Pentru accelerarea procesului, A. N. Minchevici<sup>1)</sup> a propus să se execute o cianurare pe cale de electroliză și o cianurare cu trecerea unui curent de amoniac prin baia de cianurare.

În cazul cianurării prin electroliză, oțelul se introduce sub formă de anod sau catod în baia de cianurare prin care trece un curent continuu de joasă tensiune (6—12 V). Cianurarea se face la temperatura de 640 °C.

Din cauza temperaturii înalte acest procedeu nu se poate aplica pentru cianurarea sculelor finite din oțel rapid.

În afară de aceasta, el mai are și alte neajunsuri (o instalație complicată, atacarea suprafeței oțelului etc.).

Un procedeu mai perfecționat pentru cianurarea accelerată este cianurarea cu trecerea unui curent de amoniac încălzit, prin baie.

Ambele procedee se găsesc în stadiul experiențelor de laborator.

## CAPITOLUL VIII

### OȚELURILE ALIATE

Oțelurile care conțin elemente speciale (Cr, V, W, Ni, Mo, Al, Cu, etc) sau cantități însemnate de siliciu și mangan se numesc speciale sau aliate.

Elementele de aliere pot forma aliaje solide și combinații chimice (carburi), care schimbă în mod considerabil calitățile oțelului cu care au fost aliate.

<sup>1)</sup> Teoria și practica metalurgiei. Culegere de lucrări ale Institutului Oțelului „Stalin” din Moscova. Oboronghiz 1930.



Introducerea în oțel a adausurilor speciale urmărește scopuri diferite:

1) mărirea rezistenței (obuze speciale pentru blindaj, piese de turbine și automobile etc.); 2) mărirea capacității de a rezista la ruginire și la acțiunea corozivă a acizilor și gazelor încălzite (table pentru blindajul vaselor, aparatură pentru industria chimică, grătare, armatură pentru cuptoare, țevi de arme); 3) mărirea rezistenței la uzură (piese pentru escavatoare, filiere de trefilare); 4) mărirea proprietăților de tăiere (cuțite pentru strug, freze, burghie și alte scule etc.).

Folosirea oțelurilor aliate permite să se micșoreze greutatea piesei păstrându-se însă rezistența, ceea ce în ultimă analiză duce la o economie de oțel și fonduri dat fiind costul mai ridicat al acestor oțeluri.

Pentru ca oțelul care conține în cantități anumite adausurile de aliere să aibă calități speciale, trebuie supus și unui tratament special.

De exemplu, pentru ca sculele din oțel rapid (după compoziția chimică) să aibă întradevăr proprietatea de a tăia metale la viteze mari, este necesar să fie supuse unui tratament termic adecvat; pentru ca plăcile de blindaj să aibă rezistență contra obuzelor, ele trebuie să fie supuse unui tratament termic corespunzător.

În prezent, este greu să se arate un domeniu în care oțelurile aliate să nu-și fi găsit aplicare.

Oțelurile aliate pot fi împărțite în oțeluri pentru construcții, pentru scule și oțeluri cu proprietăți speciale.

În anexa II este dată compoziția chimică, iar în anexa III proprietățile mecanice ale calităților de oțel pentru construcții, întrebuintate în industria din U.R.S.S. (GOST 4543...48).

În definirea calității oțelului standard (de exemplu 12XN2) s'a aplicat următorul principiu:

Cele două cifre din partea stângă a literelor, arată conținutul mediu de carbon în sutimi de procent (indicate cu literele rusești). Literele aflate în partea dreaptă a acestor cifre indică: W — Wolfram, G — mangan, M — molibden, N — nichel, C — siliciu, lu — aluminu, F — vanadiu, X — crom. Ciferele din partea dreaptă a literelor arată conținutul aproximativ al elementelor corespunzătoare, dacă acest conținut este mai mare de 10%.

Trebuie să avem în vedere că reziliența unor oțeluri aliate scade brusc dacă revenirea se face în așa numitul interval al fragilității 200 °C...400 °C, sau dacă oțelul se răcește lent după revenire dela temperatura de 450 °C...650 °C.

Reziliența oțelului supus unei reveniri la temperatura de 200...400 °C nu depinde de viteza de răcire după revenire.

În tabela 18 este dată reziliența oțelului 40 H după revenire la diferite temperaturi, timp de 3 ore.

Răcirea după revenire se face în apă.

S'a stabilit că scăderea rezilienței la revenire în intervalul 200°C ... 400°C este legată de transformarea resturilor de austenită în martensită.

Oțelurile cu carbon nu scad reziliența la revenire în intervalul arătat.

Acest fel de fragilitate a căpătat denumirea de fragilitate ireversibilă, spre deosebire de fragilitatea de revenire, care apare la o răcire lentă a unor oțeluri (de exemplu cu mangan, crom-nichel) după revenirea dela temperaturi înalte și care poate fi înlăturată printr'o încălzire până la 600°C ... 650°C cu o răcire ulterioară rapidă.

Dacă oțelul are fragilitate ireversibilă, atunci revenirea lui nu poate fi făcută în intervalul 200°C ... 400°C.

Tabela 18

Reziliența oțelului 40 H după revenire la diferite temperaturi

Temperatura de revenire în °C	Reziliența kgm/cm <sup>2</sup>
150	3,5
250	3,2
300	1,8
400	5,2
500	7,7
600	15,2
700	20,0

Fragilitatea de revenire poate apărea și la temperaturile de 400°C ... 450°C, dacă durata de menținere a oțelului se va prelungi mult timp.

La durata de menținere prelungită viteza de răcire după revenire nu are importanță, iar fragilitatea se va observa chiar la o răcire rapidă.

Fragilitatea de revenire are influență numai asupra rezistenței la șoc, în timp ce celelalte proprietăți mecanice și microstructura rămân fără schimbare.

Cu toate că s'au făcut multe lucrări în legătură cu stabilirea naturii fragilității de revenire, până în prezent, această problemă nu și-a găsit rezolvarea.

Oțelul de creuzet și oțelul din cuptoarele electrice bazice sunt mai puțin sensibile la fragilitatea de revenire decât oțelul acid, care posedă o sensibilitate maximă la fragilitatea de revenire.

Oțelurile cu molibden nu sunt sensibile la fragilitatea de revenire dacă durata de revenire nu depășește 240 ore.

În fig. 97 sunt indicate datele care ilustrează scăderea rezistenței unui oțel Cr - Ni - Mo la o revenire timp de 500 ore.

Oțelul este călit în prealabil la 850°C în ulei, i se face o revenire la 620°C timp de 1 oră și se răcește în aer.

După a doua revenire de lungă durată, oțelul se răcește în cuptor (10...20°C pe oră).

Fragilitatea de revenire se observă numai la încălzirea în intervalul arătat (400...650°C).

Dacă încălzirea se face mai sus sau mai jos de acest interval, fragilitatea oțelului la o răcire lentă nu se observă.

Folosirea oțelului cu un conținut minimal în mangan și fosfor micșorează fragilitatea de revenire.



Fragilitatea de revenire este mai puțin accentuată la oțelurile cu conținut scăzut în carbon.

Un oțel care a obținut fragilitatea de revenire poate fi îndreptat cu ajutorul unei noi încălziri până la  $650^{\circ}\text{C}$  cu o răcire ulterioară rapidă.

Există mai multe teorii asupra cauzelor fragilității de revenire, asupra cărora nu se va insista deoarece expunerea lor iese din cadrul prezentei cărți.

Practic, problema fragilității de revenire este rezolvată relativ ușor: o răcire rapidă înlătură fragilitatea de revenire.

Un adaus de molibden în oțel, chiar în cantități mici (0,2—0,5%), micșorează sensibilitatea oțelului față de fragilitatea de revenire.

Înainte de a examina oțelurile aliate după calități, trebuie să se cunoască influența fiecărui element de aliere asupra oțelului carbon.

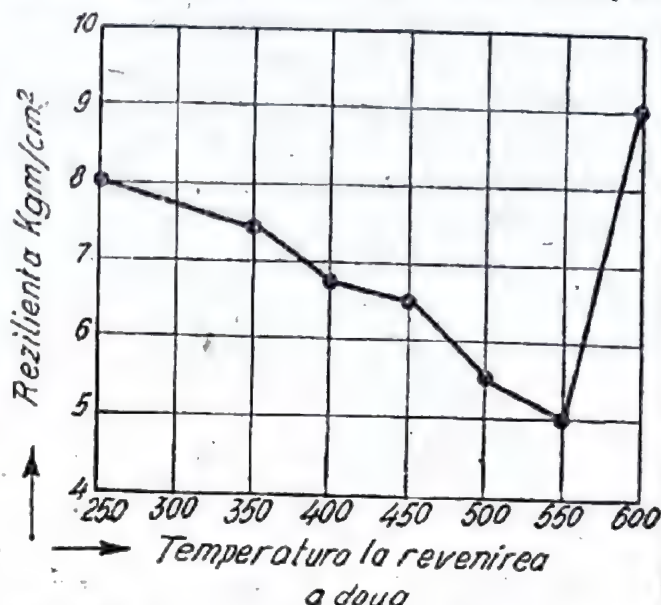


Fig. 97. Influența temperaturii unei reveniri prelunge (timp de 500 ore) asupra rezilienței la un oțel Cr - Ni - Mo, călit în prealabil și revenit la  $620^{\circ}\text{C}$ .

## 42. Influența adausurilor de aliere asupra calității oțelului

**Carbonul.** Proprietățile oțelului se modifică simțitor în funcție de conținutul în carbon.

Odată cu creșterea carbonului în oțel, se mărește duritatea, rezistența de rupere, limita de elasticitate, însă se micșorează alungirea, gătuirea la rupere și reziliența (fig. 98).

Carbonul contribuie la formarea unei zone de segregatie, fapt care are o influență deosebită în special la oțelurile aliate. Carbonul influențează negativ asupra sudabilității (capacitatea oțelului de a se suda).

Un oțel cu conținut mare de carbon posedă o sudabilitate redusă în comparație cu oțelul moale.

După cum se vede din diagrama de echilibru (fig. 16), carbonul coboară punctele critice  $A_{c3}$  în oțelul hipoeutectoid și ridică punctele  $A_{cm}$  în oțelul hipereutectoid.

Odată cu creșterea conținutului în carbon sensibilitatea oțelului la călire crește (prin sensibilitate la călire se înțelege proprietatea oțelului de a se căli pe o adâncime mai mare sau mai mică în interiorul piesei).

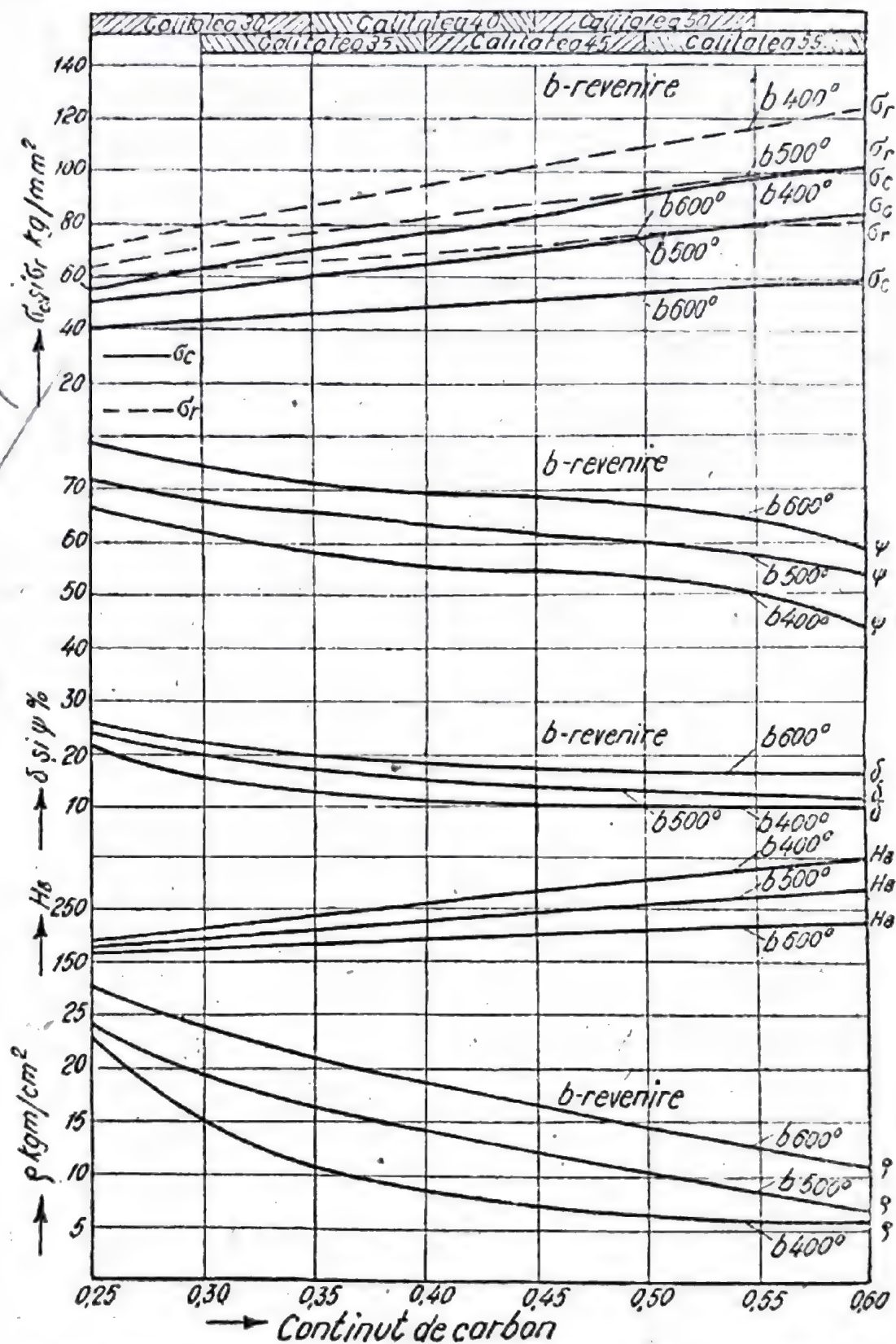


Fig. 98. Proprietățile mecanice ale oțelului carbon pentru construcții, în funcție de conținutul în carbon și temperatura de revenire.



Această proprietate crește în raport cu mărirea conținutului în carbon numai până la 0,90% C; un procent mai mare de carbon acționează în sens invers.

Este necesar să se menționeze că proprietatea de călire a oțelului carbon este neînsemnată (fig. 66), ceea ce este un mare defect al lui.

**Manganul.** Manganul se găsește în cantități mici în toate oțelurile, deoarece acest lucru este condiționat de însuși procesul de elaborare al oțelului.

În caz contrar, oțelul va avea un conținut ridicat în oxid de fier (FeO) care scade calitățile oțelului.

În afară de aceasta, manganul paralizează acțiunea negativă a sulfurii, legându-l sub formă de sulfură de mangan care se îndepărtează odată cu șura.

El face metalul mai dens și-i ameliorează foarte mult proprietățile.

În același timp însă manganul contribuie la creșterea granulelor ceea ce, după cum se știe, cauzează apariția fisurilor în piese, în timpul călirii.

Se recomandă să se producă oțel manganos cu granulație mărunță (numărul 6...8).

Manganul coboară punctele critice  $Ac_1$ ,  $Ar_1$ ,  $Ar_2$ . El micșorează conținutul în carbon din perlită și la un procent de 20% mangan perlită va avea 0,75% carbon.

Manganul, analog carbonului, mărește duritatea, rezistența de rupere, limita de curgere, sensibilitatea la călire și contribuie la urcarea durității oțelului la răcirea în aer. Gradul de influență al manganului asupra proprietăților arătate depinde de cantitatea de mangan și carbon din oțel.

De exemplu, la un conținut de 4,0 până la 6,0% mangan, un oțel cu 0,70...0,85% C devine atât de fragil, încât uneori se poate rupe în timpul prelucrării la strung; la un conținut în mangan dela 12 până la 14% oțelul devine foarte dur.

Este interesant de notat că duritatea unui oțel cu conținut redus în carbon crește cu mărirea conținutului în mangan până la 20%, în timp ce aceeași mărire a conținutului de mangan în oțelurile cu conținut mediu de carbon duce la scăderea durității.

Acțiunea manganului asupra proprietăților mecanice este puțin mai slabă decât acțiunea carbonului. Creșterea conținutului în mangan cu 0,2...0,3%, are aceeași influență ca și o creștere a carbonului de 0,1%.

Manganul în cantitate de maximum 12%, influențează negativ asupra sudabilității oțelului.

La un conținut în mangan peste 12%, oțelul își recapătă sudabilitatea.

**9.11.3 Siliciul.** Siliciul mărește duritatea, rezistența de rupere, limita de curgere și în special foarte mult, limita de elasticitate.

Siliciul acționează negativ asupra alungirii, găturii la rupere și rezilienței.

Datorită proprietății de a urca elasticitatea oțelului, siliciul și-a găsit întrebuințare la fabricarea oțelurilor pentru arcuri.

În aceste piese conținutul în siliciu ajunge la 2,5%.

O urcare a conținutului în siliciu peste procentul arătat complică lucrul cu un asemenea oțel și cere o mare atenție la tratarea termică, deoarece siliciul contribuie la grafitizare.

Soluția solidă pe care o formează siliciul cu fierul posedă o mare rezistență electrică. Această constatare a făcut ca oțelurile cu conținut ridicat de siliciu, să se întrebuințeze foarte frecvent în industria electrotehnică.

Oțelul de transformator conține până la 0,02% carbon și 3,8...45% siliciu; oțelul pentru dinam are până la 0,1% carbon și dela 1 până la 2,5% siliciu.

Siliciul influențează negativ asupra capacității de sudare a oțelului.

Siliciul urcă puțin punctele critice atât la încălzire, cât și la răcire.

Împreună cu fierul formează o soluție solidă (ferită silicioasă).

Siliciul coboară conținutul carbonului în perlită.

**9.11.4 Cromul.** Cromul, analog manganului, mărește rezistența de rupere, limita de curgere și de elasticitate, duritatea și sensibilitatea la călire.

În oțelurile cu conținut mediu de carbon, un adaus de 0,5% crom contribuie după tratamentul termic la o urcare a rezistenței de rupere și a limitei de elasticitate cu 15...20%.

Cromul contribuie la obținerea unei mari durități la răcirea oțelului în aer (în special la oțelurile care conțin nichel și cupru).

Aceasta se explică prin faptul că cromul reduce viteza de descompunere a soluției solide și astfel contribuie la formarea unei structuri de martensită și troostită.

Asupra alungirii și găturii la rupere, cromul acționează slab în sensul scăderii, în schimb reziliența o scade considerabil.

Un adaus de crom în combinație cu nichel sau vanadiu dă oțelului calități pozitive și un asemenea oțel se prelucerează ușor la strung după o recoacere adecvată.

Cromul împiedică creșterea granulelor, micșorând sensibilitatea oțelului la supraîncălziri, ceea ce reprezintă o proprietate prețioasă în producție.

La un conținut de 0,6...0,9% crom, oțelurile mangan își micșorează tendința lor la formarea fisurilor.

Deoarece cromul formează cu carbonul carburi solide foarte rezistente care măresc capacitatea de tăiere a sculelor, oțelul crom și-a găsit o largă întrebuințare în industrie ca oțel de scule.



Cromul micșorează conținutul carbonului în perlită (fig. 99).

El urcă punctele critice  $Ac_1$  și  $Ac_3$  (la încălzire), în timp ce la răcire punctul  $Ar_3$  coboară, iar punctul  $Ar_1$  urcă.

O mare influență asupra punctelor critice ale oțelurilor crom o are atât viteza de răcire cât și temperatura de încălzire.

Cu cât temperatura de încălzire este mai ridicată și cu cât viteza de răcire este mai mare, cu atât coborîrea punctelor critice este mai accentuată. Această acțiune se intensifică odată cu creșterea conținutului de crom și carbon.

**3.11.5 Nichelul.** Adăusul de nichel în oțelul carbon mărește duritatea și rezistența, micșorând foarte puțin alungirea și gătuirea la rupere.

Se consideră că fiecare procent de nichel (până la 5%) mărește rezistența de rupere și limita de curgere cu 3...4 kg/mm<sup>2</sup>.

Nichelul micșorează conținutul carbonului în perlită și face structura sa mai fină.

Oțelul cu 3% nichel și 0,70...0,75% carbon, la o încălzire lentă, este compus numai din perlită.

Nichelul contribuie la formarea sensibilității la călire și obținerea unei durități mărite, la răcirea oțelului în aer. Nichelul acționează negativ asupra capacității de sudare a oțelului.

Nichelul se disolvă în fier și nu formează carburi.

Împreună cu alte elemente (crom, wolfram) dă oțelului proprietăți superioare.

Nichelul nu se întrebuintează în calitate de adăus de aliere la oțelurile de scule, deoarece înrăutățește capacitatea de tăiere a sculelor.

Acest element contribuie la micșorarea granulei și coboară mult punctele critice, în special la răcire.

Se poate considera aproximativ, că fiecare procent de nichel coboară punctul  $Ar_1$  cu 25 °C, iar punctul  $Ac_1$  cu 10,5 °C.

**3.11.6 Wolframul.** Wolframul adăugat unui oțel cu carbon îi mărește rezistența.

Într'un oțel, conținând până la 9% wolfram, alungirea și gătuirea la rupere coboară foarte puțin, în comparație cu oțelul carbon, însă într'un oțel conținând mai mult de 9% wolfram, alungirea și gătuirea la rupere scad foarte mult.

Wolframul contribuie, într'o măsură mai mică decât cromul, la mărirea durității și a proprietății de călire a oțelului, la răcirea acestuia în aer.

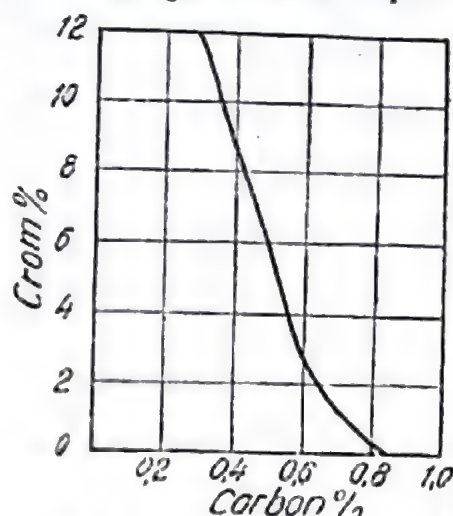


Fig. 99. Influența cromului asupra conținutului de carbon în perlită.

Nu

Wolframul influențează negativ asupra proprietății oțelului de a se suda și la un conținut de 2% wolfram oțelul se sudează foarte greu.

Wolframul leagă carbonul sub formă de carburi, iar oțelul conținând 22% wolfram își pierde proprietatea de călire.

În acest caz nu se formează o soluție solidă, deoarece tot carbonul se întrebuițează la formarea carburilor de wolfram.

Un adaus de alte elemente, ca de exemplu cromul, face oțelul capabil a primi călirea chiar la un conținut ridicat de wolfram.

Prezența de wolfram contribuie la obținerea unui oțel cu structura granulată mărunță.

Oțelurile wolfram au o conductibilitate termică redusă și de aceea piesele fabricate din aceste oțeluri trebuie încălzite și răcite cu atenție.

Oțelurile wolfram, călite, care au conținut ridicat de wolfram, nu-și pierd duritatea la încălzire până la 500...600 °C, ceea ce a dus la folosirea acestor oțeluri pentru fabricarea sculelor de tăiere care lucrează la viteze mari.

Punctele critice sunt coborâte de wolfram dacă temperatura de încălzire este mai înaltă decât așa numita temperatura scăzută (900...1200 °C) care este cu atât mai înaltă, cu cât conținutul de carbon și de wolfram din oțel este mai mare.

Dacă un oțel cu wolfram se încălzește mai jos de această temperatură, coborîrea punctelor critice nu mai are loc.

Conținutul de carbon din perlită se micșorează cu creșterea wolframului în oțel.

**9.4.7 Molibdenul.** Molibdenul acționează asupra oțelului de câteva ori mai puternic decât wolframul.

Molibdenul face oțelul stabil în ceea ce privește creșterea granulelor și datorită lui ruptura are un aspect fibros.

În majoritatea cazurilor molibdenul servește drept adaus la alte oțeluri aliate și contribuie ca acestea să obțină o granulație mărunță; el micșorează creșterea granulelor la încălzire, mărește capacitatea de călire, ridică duritatea oțelului la răcirea în aer și face ca aceste oțeluri să obțină proprietăți mecanice mai bune.

Molibdenul coboară sensibilitatea oțelurilor la apariția fragilității de revenire.

Un adaus de molibden chiar în cantități neînsemnate (0,15—0,35%), înlătură foarte frecvent acest defect.

O coborîre apreciabilă a punctelor critice se produce numai la încălzirea într'un interval determinat de temperaturi.

Dacă un oțel molibden se încălzește mai jos sau mai sus de acest interval, coborîrea punctelor critice are loc într'un grad mai slab.

Molibdenul micșorează considerabil conținutul de carbon în perlită.



**Vanadiul.** Vanadiul este cel mai bun dintre elementele de aliere cunoscute până în prezent.

El mărește rezistența, elasticitatea, duritatea și reziliența și numai într-o măsură foarte mică, micșorează alungirea relativă.

Menționăm că acțiunea pozitivă a vanadiului asupra oțelului se observă la un conținut de vanadiu până la 0,5...0,7%. O mărire ulterioară a conținutului de vanadiu nu schimbă calitatea oțelului, iar în unele cazuri, la un conținut mai mare de 1%, chiar o înrăutățește.

Vanadiul contribuie la finisarea puternică a granulelor oțelului, împiedicând deasemenea creșterea lor peste măsură la supraîncălziri.

El mărește capacitatea de călire și ajută la obținerea unei durități superioare la răcirea oțelului în aer. La un conținut nu prea mare al vanadiului în oțel, aceste proprietăți aproape nu se schimbă.

Vanadiul se adaugă în oțelurile de scule și în oțelurile de calități speciale.

Până  
Aci

Un adaos de maximum 0,2% vanadiu, urcă punctul  $Ar_1$  (la răcire) aproximativ cu 10°C, însă o mărire ulterioară a vanadiului nu modifică poziția acestui punct.

Punctul  $Ar_3$  la răcire se urcă proporțional cu conținutul în vanadiu.

### 43. Oțelurile nichel

Oțelul nichel posedă proprietăți bune pentru turnătorie, se forjează bine și nu cere măsuri speciale de precauție la prelucrarea la cald.

La turnare se formează retasură destul de importantă.

Oțelurile nichel au tendința de grafitizare ceea ce se observă la o răcire lentă a acestora când se separă grafitul, reducând proprietățile mecanice ale oțelului.

Conținutul în siliciu favorizează grafitizarea oțelului nichel, în timp ce introducerea cromului și în special a molibdenului, în oțelul nichel, înlătură grafitizarea.

Din cauză că ferita cu nichel trece lent în austenită, oțelul nichel se menține la temperatura de călire timp mai îndelungat sau se încălzește înainte de călire până la o temperatură mai înaltă în comparație cu un oțel carbon de aceeași compoziție. Oțelul nichel posedă proprietatea de a suporta șocuri.

Calitățile lui sporesc în special după călire și revenire.

Nichelul și-a găsit o largă întrebuințare nu numai la oțelurile de construcții dar și la oțelurile de cementare și la cele de îmbunătățire.

De exemplu un oțel de compoziție: 0,08...0,20% carbon și 1,5...6,0% nichel se întrebuințează pentru fabricarea pieselor cementate, iar oțelul

conținând 0,20...0,45% carbon și 0,9...5,0% nichel, se întrebuințează pentru piese de construcții.

Un exemplu de modul de întrebuințare al oțelurilor nichel este dat de tabela 19 (după datele lui Contorovici).

Tabela 19

### Întrebuințarea oțelurilor nichel

Conținut în %		Întrebuințarea oțelului
C	Ni	
0,1 — 0,2	0,5 — 0,75	Axe cu came.
0,1 — 0,2	1,5	Roți dințate.
0,1 — 0,2	1,0 — 2,0	Rame, șasuri, țevi, nituri, table.
0,25 — 0,35	2,75 — 3,5	Axul din față la automobil, pârghii, biele de motor, console de arcuri, pârghiile volanului, supape.
0,15 — 0,35	3,25 — 3,75	Chei pentru automobil, piese pentru locomotivă.
0,1 — 0,2	3,5	Roți dințate cementate.
0,2 — 0,3	5,0	Supapele automobilului.
0,25 — 0,45	5,0	Arbori cotiți și axe de transmisii, axe, biele.
0,15	4,5 — 6,0	Piese cementate dela motocicletă.

În afară de proprietăți mecanice superioare, oțelurile nichel de cementare, mai au următoarele caracteristice:

1) sunt mai puțin sensibile la supraîncălzire, fenomen care însoțește de obicei cementarea și de aceea permite, în unele cazuri, să se înlocuească un tratament termic complicat prin unul mai simplu, fără o apreciazabilă scădere a durității;

2) majorarea conținutului în carbon în stratul cementat se produce mai uniform;

3) cementând un oțel nichel cu un conținut determinat de nichel, se poate obține la o răcire lentă un strat dur de martensită la suprafață și un miez moale. Pentru aceasta este necesar să se obțină următoarea combinație de carbon și nichel:

[%Ni %]	2	3	4	5	6	7
C %	1,50	1,30	1,10	0,95	0,85	0,75

Folosind acest procedeu se poate evita o călire cu ajutorul unei răciri brusce ceea ce va înlătura încovoierea pieselor.

Piese principale fabricate din oțel nichel, după cementare la 870...950 °C se răcesc lent și se supun unei duble căliri.



Temperatura primei și celei de a doua căliri se alege în funcție de conținutul în carbon și nichel (tab. 20).

Tabela 20

Temperatura primei și celei de a doua căliri a oțelului nichel

Conținutul în Ni%	2,0—2,5				3,0—3,5			
Conținutul în C %	0,10	0,15	0,20	0,25	0,10	0,15	0,20	0,25
Temperatura călirii I. °C	840	830	820	800	830	820	800	780
Temperatura călirii II. °C	730—740				715—730			

Unele fabrici aplică pentru aceste oțeluri o temperatură mai înaltă la prima călire (870°C) ceea ce se explică, după cum s'a spus mai sus, prin trecerea lentă a feritei cu nichel în soluție solidă  $\gamma$ .

La un tratament termic complicat piesele se pot răci după prima călire până la o culoare întunecată și apoi se pot încălzi din nou.

O foarte mare întrebuințare în industrie au oțelurile conținând 0,20—0,30% C și 0,50—0,90% sau 2,75—3,25% nichel.

De obicei li se adaugă crom, molibden, mangan, vanadiu, etc.

În tabela 21 sunt arătate datele referitoare la proprietățile mecanice ale oțelului nichel, pentru partea centrală a semifabricatelor cu diametrul de 40, 60 și 80 mm, după călire și revenire.

Tabela 21

Proprietățile mecanice ale oțelului nichel după călire și revenire

Conținut în %		Temperatura de călire	Mediul de răcire	Temperatura de revenire	Dimensiunea semi fabricatelor	Proprietățile mecanice				
C	Ni					Limita de curgere $\sigma_c$ în kg/mm <sup>2</sup>	Rezistența de rupere $\sigma_r$ în kg/mm <sup>2</sup>	Alungirea $\delta$ în %	Gătuirea la rupere $\psi$ în %	Reziliența $\rho$ în kgm/cm <sup>2</sup>
0,20—0,30	0,50—0,90	800°C	Apă	620°C	40	55	70	17	51	13
					60	47	62	18	50	13
					80	45	58	18	50	13
0,20—0,30	2,75—3,25	820°C	Ulei	500°C	40	82	91	16	46	8
					60	71	80	17	48	7,5
					80	65	75	17,5	50	7,0

O mare întrebuințare o au aliajele cu nichel care posedă proprietăți speciale foarte importante pentru tehnică.

Din acestea fac parte aliajele care au un coeficient determinat de dilatare termică, un coeficient mic de dilatare liniară, etc. De exemplu, aliajul numit platinită (0,15% C și 46% Ni) are un coeficient de dilatare termică egal cu platina și sticla; aliajul feronichel (0,3...0,5% C. și 25...35% Ni) posedă stabilitate împotriva coroziunii, o mare duritate și un coeficient de dilatare mic.

Platinita se întrebuințează la fabricarea filamentelor pentru lămpile de radio, a pieselor pentru aparate de radio etc.

Feronichelul se întrebuințează la fabricarea pieselor pentru aparatele de geodezie, a supapelor și tijelor motoarelor cu combustie internă, sârmă pentru reostate etc.

Aliajul permaloy (0,03% C; 21,5% Fe și 78% Ni) se folosește în aparatele electrotehnice.

#### 44. Oțelurile crom și oțelurile crom-molibden

Proprietățile de turnare ale oțelurilor crom sunt satisfăcătoare.

Forjarea acestori oțeluri trebuie executată la temperaturi ridicate, însă este necesar ca oțelul să nu se supraîncălzească.

Oțelurile crom nu au conductibilitate termică bună și de aceea, pentru evitarea apariției fisurilor, încălzirea și răcirea lor se va face cu atenție.

Călirea în ulei a oțelului de scule cu 1,5...2,0% crom nu duce la formarea fisurilor, chiar la temperaturi de încălzire prea înalte.

Oțelurile crom se împart în oțeluri pentru cementare, oțeluri pentru construcții, oțeluri pentru scule, oțeluri pentru lagăre și oțeluri rezistente la coroziune.

Pentru cementare se întrebuințează oțelurile având dela 0,10 la 0,25% carbon și dela 0,70 până la 1,00% crom (15H și 20H).

Din aceste oțeluri se fabrică roți dințate, axe cu came, axele pistonului etc.

În funcție cu calitățile cerute pieselor, există mai multe procedee de tratare termică a oțelurilor crom după cementare.

Spre exemplu, pentru obținerea unei durități superioare se folosește următoarea variantă a tratamentului:

1) cementare la 900...920 °C; 2) călire direct din cutie în ulei; 3) călire la 780...800 °C în apă și 4) revenire la 180...200 °C.

Iar pentru obținerea unei bune proprietăți mecanice: 1) cementare la 900...920 °C; 2) călire direct din cutie în ulei; 3) călire la 870...900 °C în ulei, 4) călire la 780...800 °C în apă și 5) revenire la 180...200 °C.

După un asemenea tratament se obține la suprafață o duritate de 500...600 unități Brinell și un miez moale.

Oțelurile crom pentru construcții conțin dela 0,25 până la 0,55% carbon și dela 0,5 până la 3,0% crom (mai des dela 0,7 până la 1,10% Cr).



În industrii își găsește foarte des întrebuințare oțelul cu 0,35...0,45% C și 0,8...1,1% Cr (40 H), care se folosește pentru fabricarea roților dințate, a arborilor cotiți, a bielelor, axelor, cilindrilor și a altor piese importante.

Călinid un astfel de oțel în apă, se poate obține după revenire o tenacitate considerabilă la o rezistență ridicată (fig. 100).

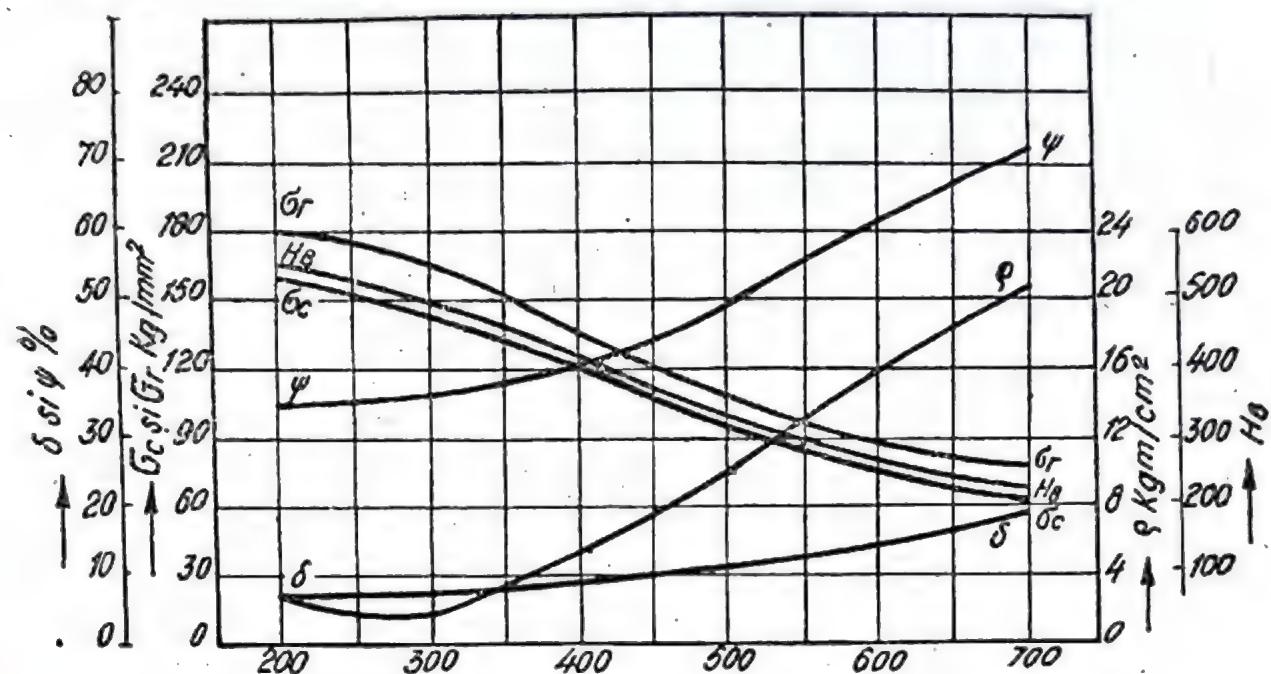


Fig. 100. Proprietățile mecanice ale oțelului 40 H (0,38% C; 0,74% Mn; 0,26% Si; 0,82% Cr; 0,18% Ni; 0,019% S și 0,021% P) în funcție de temperaturile de revenire.

Proprietățile mecanice ale oțelului 40 H (0,44% C; 0,65% Mn; 0,91% Cr) sub formă de semifabricate de diferiți diametri, după călire și revenire la 600°C sunt arătate în fig. 101.

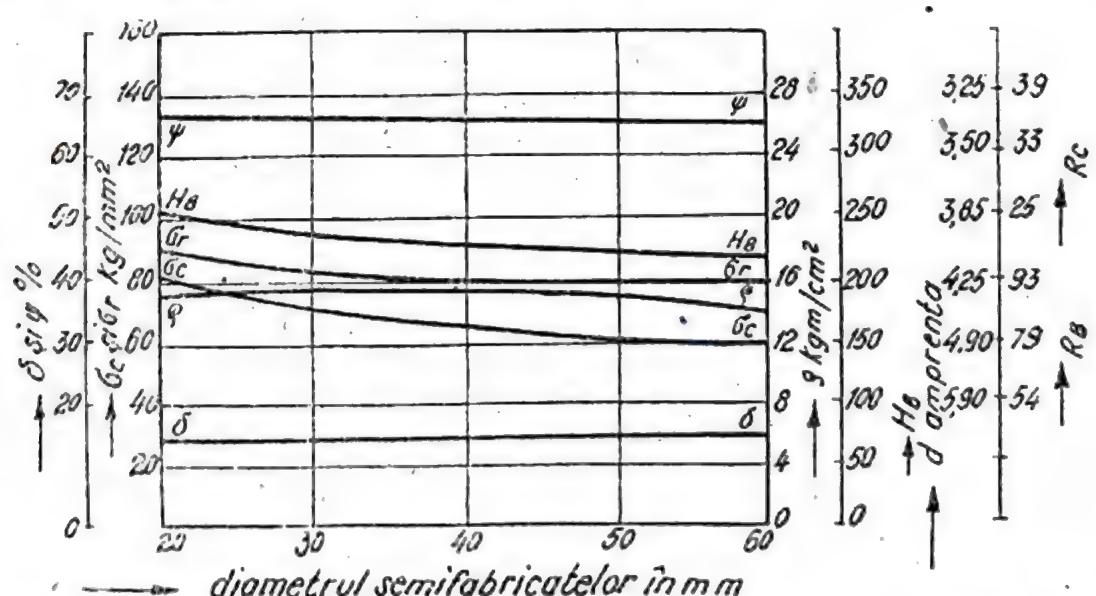


Fig. 101. Proprietățile mecanice ale oțelului 40 H (0,44% C; 0,65% Mn; 0,91% Cr;) sub formă de semifabricate de diferiți diametri (revenire 600°C).

Proprietăți mecanice foarte bune posedă oțelurile crom cu 0,30...0,40% carbon și 2,7...3,0% crom.

De regulă, oțelurile crom pentru construcții se întrebuițează după călire și o înaltă revenire (500...600 °C).

Aceste oțeluri au tendință spre fragilitatea de revenire și de aceea după o înaltă revenire este necesar să li se facă o răcire rapidă în apă sau ulei.

Prezența cromului în oțelul pentru scule urcă durabilitatea sculelor.

O influență prețioasă a cromului asupra oțelului pentru scule constă deasemenea în aceea că piesele după tratamentul termic își schimbă puțin dimensiunile.

Oțelurile pentru scule conțin dela 0,6 până la 1,5% carbon și dela 1,3...3,8% crom.

Ștanțele pentru forjat, matrițele de îndoire, se fabrică din oțel cu 0,60...0,65% carbon și 3,2...3,8% crom.

Oțelul se recoace la 800...820 °C și se călește în ulei la 875...925 °C.

Revenirea se face în funcție de condițiile de lucru, la 200...600 °C.

Ștanțele pentru ștanțarea la cald, dornuri și poansoane se fabrică din oțel cu conținut de 0,9% C și 3,2...4% crom.

Pentru fabricarea ciocanelor pneumatice, dălților, filierelor de trefilare, calibrelor, cuțitelor de strung, a frezelor, se întrebuițează oțelul cu 1,2...2,3% C și 11,5...14% crom, care posedă o rezistență aprecia-bilă la uzură.

Oțelul cu 2,0...2,3% C, 11,5...13,0% Cr se călește la temperatura de 900...1 050 °C în ulei sau în aer și se revine la 220...400 °C. Se întrebuițează pentru fabricarea matrițelor de broșat și poansoanelor bacurilor de filieră etc.

Recoacerea unui astfel de oțel se face la 850...870 °C, iar răcirea, se face odată cu cuptorul.

Oțelurile cu 1,3...2,5% crom și 0,80...1,10% carbon se deformează puțin și se întrebuițează pentru fabricarea cuțitelor de strung de formă complicată, burghiilor pentru filetat, bacurilor de filieră, instrumentelor de măsurat etc.

Călirea lor se face la temperatura de 800...860 °C în ulei.

Duritatea acestor oțeluri (62...64 Rc) se păstrează la o revenire până la 170 °C.

Oțelurile care conțin dela 1,0 până la 1,75% crom și circa 1,1% carbon se întrebuițează pentru fabricarea rulmenților cu bile și role, a valțurilor de laminat la rece și a ștanțelor pentru ștanțare la rece.

Bilele și rolele se călesc la 780...800 °C în apă. La călirea în ulei, temperatura de încălzire se urcă cu 40 °C mai sus.

În primul caz revenirea se face la temperatura de 170...200 °C, iar în al doilea — temperatura de revenire se urcă până la 280...300 °C.

După un asemenea tratament se obține o duritate de circa 550...600 unități Brinell.



Înainte de a fabrica bilele și rolele, semifabricatele de oțel din care se vor face acestea trebuie să aibă structura perlitică globulară.

Oțelurile: 1) 0,05...0,3% carbon și 18...30% crom și 2) 0,08...0,3% carbon și 11...14% crom, se întrebuințează în calitate de oțeluri inoxidabile pentru fabricarea instrumentelor chirurgicale, a cuțitelor, lingurilor, etc.

Ele sunt utilizate și în industria chimică, deoarece sunt destul de rezistente la acțiunea acidului sulfuric, azotic și clorhidric.

Un adaus de molibden în cantitate de 0,15...0,40% la un oțel cu crom exercită o influență pozitivă asupra proprietăților oțelului.

Acest oțel se întrebuințează pentru piese foarte importante (tab. 22).

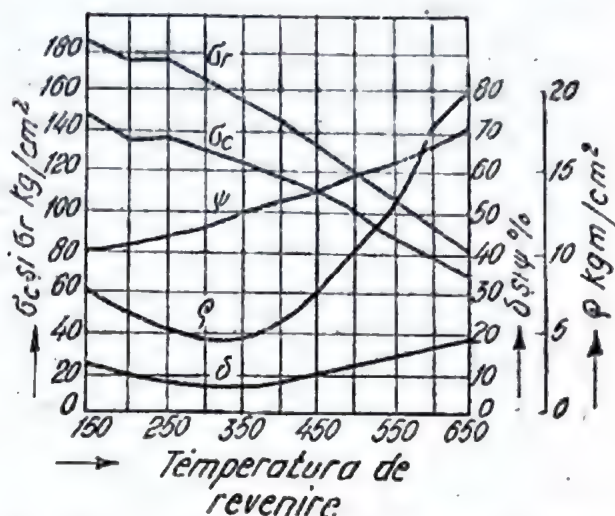


Fig. 102. Proprietățile mecanice ale oțelului cu crom-molibden (0,35% C; 0,91% Cr; 0,16% Mo). Călire epruvetei la 880°C în ulei.

Tabela 22

Compoziția chimică și modul de folosire al oțelului crom-molibden <sup>1)</sup>

Compoziția chimică în %			Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Cr	Mo		
0,32—0,40	0,8—1,10	0,15—0,25	Piese pentru turbine, arbori, manșoane, discuri, tije, rotori, roți dințate și alte piese.	Călire la 850—870°C în apă sau ulei, revenire la 600—640°C.
0,33—0,40	1,60—1,90	0,15—0,25	Pentru piese foarte importante cu limita de proporționalitate mai mare de 70 kg/mm <sup>2</sup> .	Normalizare la 860—880°C, călire la 860—880°C, revenire la 600—650°C.
1,45—1,70	11,0—12,5	0,50—0,80	Pentru ștanțe de ștanțare la rece, cu mare rezistență la uzura prin frecare, care necesită o mare duritate, pentru role de profilare de forme complicate, pentru matrițe de refulare în adâncime, pentru bacuri de filetat, etc.	Recoacere la 850—870°C, călire în ulei sau în aer, revenire la 350—550°C.

<sup>1)</sup> După datele catalogului cu calități de oțel al NKTМ.

În fig. 102 sunt arătate proprietățile mecanice ale oțelului crom-molibden ( $0,35\%$  C;  $0,91\%$  Cr;  $0,16\%$  Mo) în funcție de temperatura de revenire.

Din cauză că molibdenul este un material deficitar, în unele cazuri, acest oțel este înlocuit cu succes cu alte oțeluri (de exemplu, cu oțel crom-siliciu sau crom-mangan-siliciu).

#### 45. Oțelurile mangan

Conținutul în mangan al oțelurilor carbon obișnuite ajunge până la  $0,8\%$ . Dacă procentul de mangan este mai mare de  $0,8\%$ , atunci oțelul respectiv este clasat ca oțel aliat.

Oțelurile mangan își cuceresc un loc tot mai important în industrie (tabela 23), deoarece posedă proprietăți mecanice superioare (fig. 103).

Tabela 23

Compoziția chimică și modul de folosire al oțelului mangan

Compoziția chimică în %		Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Mn		
0,25—0,35	1,40—1,80	Axele cărucioarelor de macara, semiaxe, fusuri.	Normalizare la $840-860^{\circ}\text{C}$ .
0,30—0,40	1,40—1,80	Arbori cotiți, semiaxe, fusuri și alte piese pentru tractoare.	Normalizare la $840-860^{\circ}\text{C}$ sau călire la $800-820^{\circ}\text{C}$ în apă și revenire la $620-640^{\circ}\text{C}$ .
0,40—0,50	1,40—1,80	Semiaxe, arbori, șuruburi fără sfârșit și alte piese pentru tractoare.	Normalizare la $830-850^{\circ}\text{C}$ sau călire la $830-850^{\circ}\text{C}$ în ulei, revenire la $550-600^{\circ}\text{C}$ .
0,45—0,55	0,70—1,00	Piese supuse la uzură prin frecare: discuri de fricțiune, roți dințate, arborii roților dințate.	Normalizare la $820-840^{\circ}\text{C}$ sau călire la $820-840^{\circ}\text{C}$ în ulei, revenire la $550-600^{\circ}\text{C}$ .
0,45—0,55	1,40—1,80	Roți dințate, șurub fără sfârșit, arborii roților dințate.	Normalizare la $810-830^{\circ}\text{C}$ , revenire la $400-500^{\circ}\text{C}$ .

Aceste oțeluri sunt întrebuințate pentru diferite piese, de exemplu sunt folosite pe scară întinsă în calitate de material de construcții.

În unele cazuri ele se întrebuințează la fabricarea sculelor.

Oțelurile mangan sunt foarte sensibile la temperatura de încălzire, deoarece au tendință spre formarea unei structuri cu granulație mare.



La încălzirea pentru călire se folosește o durată de menținere minimă.

Recoacerea oțelului mangan se face la  $810\cdots 860^\circ\text{C}$ , iar călirea în funcție de compoziția chimică, la  $800\cdots 850^\circ\text{C}$ .

La recoacere este necesar să se folosească o răcire foarte lentă.

Este bine să se folosească o recoacere izotermică, ceea ce accelerează procesul.

Oțelul cu  $0,40\%$  carbon și  $0,8\cdots 1,20\%$  mangan se întrebuințează pentru fabricarea ștanțelor și matrițelor pentru ștanțare la cald, a nicovalilor.

Diferite cuțite, scule pentru fierărie, ciocane, topoare etc., se fabrică din oțel conținând  $0,4\cdots 0,60\%$  carbon și  $0,8\cdots 1,00\%$  mangan.

Oțelul de scule cu un conținut de  $1,0\cdots 1,50\%$  mangan și  $0,8\cdots 1,00\%$  carbon se deformează puțin la călire și se întrebuințează pentru fabricarea burghiilor pentru filetat și bacurilor pentru filiere, atunci când ele nu trebuie să-și modifice dimensiunile.

Un adaus de crom în cantitate de  $0,50\%$  la un oțel de scule cu mangan ameliorează considerabil proprietățile oțelului.

Oțelurile cu  $0,1\cdots 0,45\%$  carbon și  $1,6\cdots 1,80\%$  mangan, se întrebuințează pentru fabricarea buloanelor, roților dințate, ale cutiilor de viteză, etc.

Oțelul cu  $0,3\cdots 0,40\%$  carbon și  $1,0\cdots 1,40\%$  mangan se produce în cantitate mare.

Din acest oțel se fabrică bandaje, arbori cotiți, etc.

În practică este bine cunoscut oțelul cu conținut ridicat în mangan, având  $10\cdots 14\%$  mangan și  $1,0\cdots 1,40\%$  carbon.

Acest oțel lucrează bine la fricțiune.

Cu toate că un asemenea oțel nu are o duritate mare, totuși nu se prelucurează bine nici chiar cu sculele fabricate din oțel rapid.

Aceasta se explică prin faptul că în procesul de tăiere austenita (fig. 104) acestui oțel trece în martensită, fapt care îngreunează tăierea.

Piese fabricate din oțel cu conținut ridicat în mangan se toarnă, se laminează sau se forjează astfel, ca ulterior să nu mai fie supuse unei prelucrări la strung.

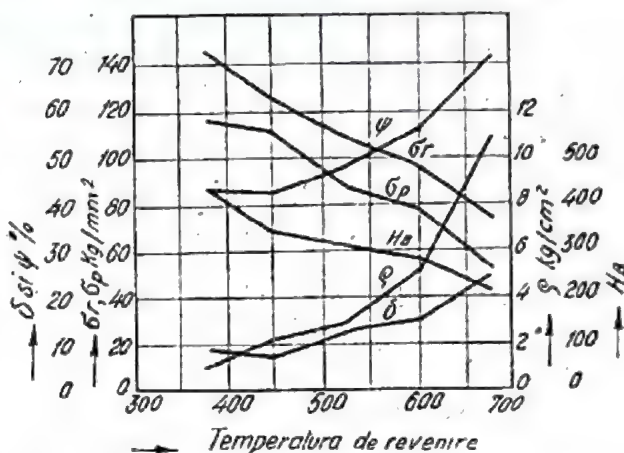


Fig. 103. Proprietățile mecanice ale oțelului mangan, ( $0,45\%$  C;  $1,46\%$  Mn;  $0,20\%$  Si;  $0,16\%$  Cr;  $0,36\%$  Ni;  $0,016\%$  S;  $0,034\%$  P). Călirea semifabricatelor cu diametrul de 25 mm la  $810^\circ\text{C}$  în ulei.

Din acest oțel se fabrică făci de concasoare, buloane pentru excavatoare, cupe pentru dragă, bile pentru mori, macazuri și linii de încrucișare de cale ferată și de tramvai, patine de șenile, etc.

Călirea acestor piese se face la temperatura de  $1\,050\text{--}2\,100\text{ }^{\circ}\text{C}$  în apă rece. Revenirea nu se aplică.

Oțelurile mangan posedă o conductibilitate termică nu prea mare și de aceea încălzirea lor se va face cu atenție.

Oțelul cu conținut ridicat în mangan, specificat mai sus, are o conductibilitate termică de patru ori mai mică în comparație cu oțelul carbon.

Oțelurile mangan au tendință spre fragilitatea de revenire și de aceea după revenire este necesar să se procedeze la o răcire rapidă.

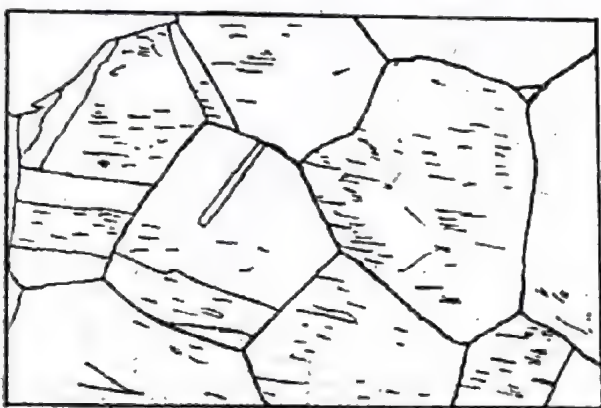


Fig. 104. Microstructura oțelului mangan ( $1,0\text{--}1,4\%$  C;  $10\text{--}14\%$  Mn) după călire la  $1\,050\text{ }^{\circ}\text{C}$  în apă. Structură austenitică a oțelului.

Fragilitatea de revenire a oțelurilor mangan se manifestă mai pronunțat când aceste oțeluri au conținut ridicat în fosfor și carbon.

Oțelurile mangan care se cimentează, se recomandă să fie încălzite pentru cementare până la  $860\text{--}880\text{ }^{\circ}\text{C}$  și să se întrebuițeze medii de carburare nu prea puternice, altfel în stratul superior se va forma o aglomerare de carburi și el va deveni fragil.

Rezultatele bune se obțin la călire pieselor direct din cutia de cementare, cu recoacere ulterioară pentru obținerea unui miez cu granulație mică. După călire finală se aplică o revenire la temperatura de  $160\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 46. Oțelurile wolfram

Oțelurile wolfram se forjează și se toarnă bine. Adausul de wolfram în oțel înlătură pericolul creșterii granulelor și apariției fisurilor.

Oțelul wolfram își schimbă puțin dimensiunile la călire în ulei și de aceea își găsește întrebuințare la fabricarea instrumentelor de precizie, calibrelor, etc.

De exemplu, oțelul conținând  $0,9\text{--}1,2\%$  carbon și  $0,8\text{--}1,2\%$  wolfram se folosește pentru fabricarea calibrelor și burghiilor de filet cu pas precis; oțelurile cu  $0,90\text{--}1,30\%$  carbon și  $1,0\text{--}2,5\%$  wolfram se întrebuițază pentru fabricarea instrumentelor, care concomitent



cu o mare productivitate trebuie să aibă și o schimbare minimală a formei la călire (bacuri de filieră, alezoare, burghie de filet).

Oțelul matrițelor pentru trefilarea la rece a metalului conține: dela 1,9 până la 2,2% carbon și dela 1,25 până la 12% wolfram.

Din cauza prețului ridicat al wolframului, se caută să se limiteze folosirea acestui oțel și în cazuri extreme să se reducă la minimum conținutul în wolfram.

#### 47. Oțelurile crom-nichel și crom-nichel-molibden

Datorită proprietăților lor mecanice superioare (fig. 105) oțelurile crom-nichel au o largă utilizare (tab. 24).

Aceste oțeluri sunt superioare celor cu nichel, deoarece se călesc mai bine și posedă o bună tenacitate și o rezistență ridicată.

Variind conținutul în crom și în nichel se poate obține, în aceste oțeluri, o structură sau alta.

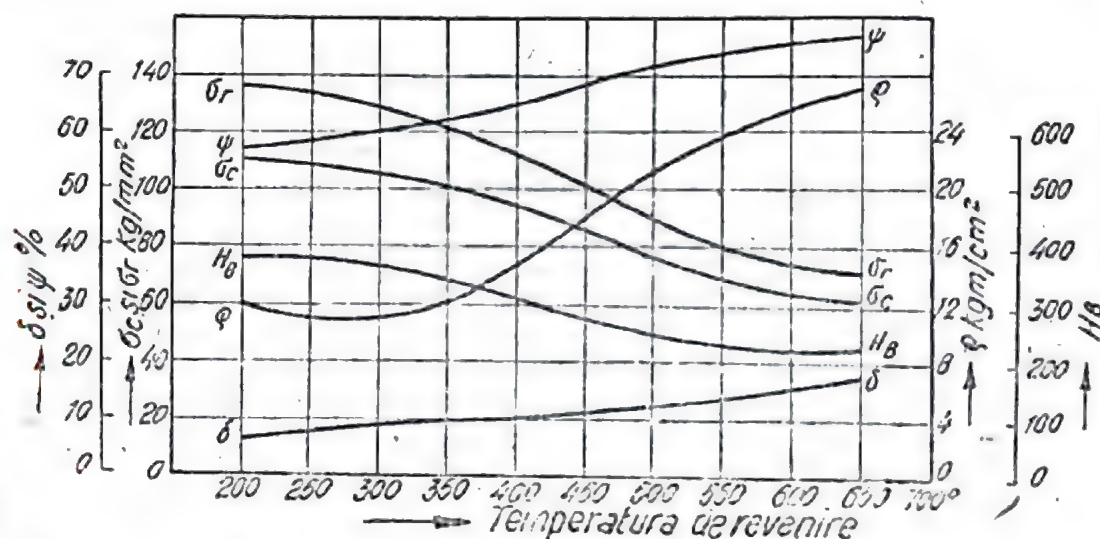


Fig. 105. Proprietățile mecanice ale oțelului crom-nichel (0,17% C; 0,47% Mn; 0,22% Si; 0,73% Cr; 2,13% Ni; 0,014% S, și 0,012% P). Călirea epruvetelor la 840 °C, în ulei.

Oțelul crom-nichel rezistă bine la încărcări neprevăzute (șocuri, lovituri) și deaceia se întrebuințează pe scară întinsă la construcția autovehiculelor, tractoarelor și mașinilor.

Cele mai răspândite sunt oțelurile conținând 0,1 ... 0,45% carbon, 0,5 ... 1,7% crom și 1 ... 4,5% nichel.

Oțelurile care au 0,1 ... 0,25% carbon, 0,6 ... 0,9% crom și 1 ... 4% nichel, se întrebuințează ca oțeluri pentru cementare.

Aceste oțeluri după cementare, de regulă, se călesc în ulei prima dată la temperatura de 840 °C, apoi la 775 °C. Revenirea se efectuează

Tabela 24

Compoziția chimică și modul de folosire al oțelurilor crom-nichel<sup>1)</sup>

Compoziția chimică în %			Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Cr	Ni		
0,11—1,17	0,60—0,90	1,50—2,00	Piese cementate : arbori mici, tije, roți dințate, bolțuri și alte piese.	Cementare la 900—920 °C, călire la 860 °C în ulei sau în apă, a doua călire la 780 °C în ulei sau apă, revenire la 180—200 °C.
0,11—0,17	0,60—0,90	2,75—3,25	Roți dințate, arbori și alte piese importante cementate.	Cementare la 900—920 °C, călire la 860 °C în ulei, a doua călire la 780 °C în ulei, revenire la 180—200 °C.
0,11—0,17	1,25—1,75	3,25—3,75	Oțel cementat pentru piese cu rezistența miezului mărită.	Cementare la 900—920 °C, călire la 820 °C în ulei, a doua călire la 780 °C în ulei, revenire la 150—200 °C.
0,17—0,25	0,60—0,90	2,75—3,25	Oțel pentru piese importante cu tenacitate mărită, se poate supune la cementare.	Călire la 820—840 °C în ulei, revenire la 400—550 °C.
0,25—0,35	0,60—0,90	2,75—3,25	Piese foarte importante, tije arbori.	Călire la 820—840 °C în ulei, revenire la 500—550 °C sau 620—650 °C.
0,37—0,45	0,45—0,75	1,00—1,50	Arbori și alte piese cu proprietăți mecanice superioare. Ștanțe pentru ștanțare la cald.	Călire la 820—840 °C în ulei, revenire la 500—600 °C.
0,15—0,26	17,0—19,0	7,5—8,5	Table 10—40 mm pentru instalații rezistente la acizi, din industria chimică. După sudură, tratament termic obligator.	Călire la 1 150 °C în apă.
<0,12	17,0—19,0	7,5—8,5 +0,5 Ti	Table 10—40 mm pentru instalații rezistente la acizi, din industria chimică, fără tratament termic după sudură; convertoare, încălzitoare, răcitoare etc.	Călire la 1 150 °C în apă.

<sup>1)</sup> După datele calităților de oțel din catalogul NCTM și după alte surse.



la 150 ... 170 °C. După un astfel de tratament, piesele vor avea un miez foarte moale și o suprafață dură.

Deoarece cromul contribuie la acumularea carbonului la suprafață, cementarea oțelului crom-nichel se face cu un mediu de carburare care acționează slab.

Oțelul crom-nichel ( $C=0,16\ldots0,20\%$ ;  $Mn=0,4\ldots0,6\%$ ;  $Ni=1,6\ldots1,8\%$  și  $Cr=1,8\ldots2,0\%$ ) are în miez, după călire, următoarele proprietăți mecanice:

$$\sigma_c = 85 \text{ kg/mm}^2, \sigma_r = 115 \ldots 140 \text{ kg/mm}^2 \text{ și } \delta = 10\%.$$

Acest oțel are o largă întrebuințare în industrie.

Schimbând temperatura de revenire, se pot obține cele mai variate proprietăți ale oțelului crom-nichel.

Oțelurile crom-nichel au tendință spre fragilitate la revenire și deaceia după o revenire înaltă sunt răcite sau în apă sau în ulei.

Pentru piese foarte importante din oțel crom-nichel se pot recomanda următoarele variante de tratament termic:

Varianta I: călire în ulei sau normalizare la 870 °C; recoacere la o temperatură cu 20 ... 30 °C mai sus de punctul critic superior, cu răcire lentă; prelucrare mecanică; călire și revenire.

Varianta II: călire în ulei la 870 °C; recoacere în ulei la o temperatură cu 20 ... 30 °C mai sus de punctul  $A_{c3}$ ; o revenire înaltă (cu circa 40 °C mai jos de punctul  $A_{c1}$ ); prelucrare mecanică; călire în în ulei sau apă; revenire.

Varianta III: încălzire până la 870 °C cu răcire ulterioară în aer până la temperatura  $A_{r1}$  (în funcție de oțel până la 350 ... 450 °C) sau călire în ulei; călire în ulei; revenire; prelucrare mecanică.

Aceste feluri de tratament ameliorează considerabil proprietățile mecanice ale oțelului.

Urcarea temperaturii de încălzire a oțelului crom-nichel contribuie în mare măsură chiar la călirea pieselor de dimensiuni mari.

Oțelul inoxidabil crom-nichel (0,05 ... 0,25 % C, 6 ... 8 % Ni și 18 ... 22 % Cr) este bine cunoscut și se întrebuințează în cele mai variate medii unde coroziunea are mare importanță.

Acest oțel se folosește pentru fabricarea instalațiilor din industria chimică și alimentară, a diferitelor piese de avioane, hidroavioane, a pieselor pentru pompe de apă, a diferitelor rezervoare, țevi și a pieselor mobile din turbine.

Acidul sulfuric și clorhidric atacă acest oțel.

Călirea oțelului inoxidabil crom-nichel se face la 1 150 °C în apă sau în aer.

Oțelul în stare călită are o structură austenitică.

**Proprietățile mecanice ale oțelului crom-nichel-molibden**  
(Probele s'au tăiat după axa semifabricatelor)

Compoziția chimică	Diametrul semifabricatelor în mm	Temperatura de călire °C	Temperatura de revenire °C	Proprietățile mecanice				
				Limita la curgere $\sigma_c$ în kg/mm <sup>2</sup>	Rezistența de rupere $\sigma_r$ în kg/mm <sup>2</sup>	Alungirea $\delta$ în %	Gătuirea la rupere $\psi$ în % (conținut)	Reziliența $\rho$ în kgm/cm <sup>2</sup>
C=0,30-0,38%	30	850	600	88	95	12,0	48	11
Cr=0,80-1,10%	60	850	610	88	95	12,0	48	11
Ni=1,25-1,75%	90	850	600	78	85	12,5	47	10
Mo=0,25-0,40%	120	850	600	64	74	12,5	46	9
	150	850	600	58	70	13,0	45	9
C=0,30-0,38%	30	850	580	91	98	12,0	48	11
Cr=0,80-1,10%	60	850	580	91	98	12,0	47	11
Ni=1,75-2,25%	90	850	580	85	93	12,0	47	10
Mo=0,25-0,40%	120	850	580	80	90	12,5	46	9
	150	850	580	71	84	13,0	45	8
C=0,30-0,38%	30	850	580	93	102	11,5	47	10
Cr=0,80-1,10%	60	850	580	92	102	11,5	47	10
Ni=2,25-3,00%	90	850	580	91	102	11,5	46	10
Mo=0,25-0,40%	130	850	580	88	100	12,0	46	9
	150	850	580	81	98	12,0	45	8
C=0,30-0,38%	30	850	600	95	110	13,0	46	9,5
Cr=1,10-1,40%	60	850	600	95	110	13,0	46	9,5
Ni=3,25-3,75%	90	850	600	94	108	13,0	46	9,5
Mo=0,30-0,40%	120	850	600	90	107	12,5	45	9,5
	150	850	600	88	105	12,0	44	9,0

La încălzire până la 600 °C...700 °C pe marginile granulelor de austenită se repară carburile, ceea ce micșorează stabilitatea oțelului contra coroziunii.

Pentru a micșora coroziunea intercristalină, oțelului inoxidabil i se adaugă titan, niobiu și alte elemente.

Aceasta se explică prin aceea că adausurile specificate micșorează separarea carburilor la marginea granulelor și contribuie la distribuirea lor mult mai uniformă.

Pentru ameliorarea prelucrării la strung, oțelurile inoxidabile se produc cu conținut urcat de sulf și fosfor. În cazuri speciale se adaugă seleniu (Se).

Un adaus de 0,5% titan la un oțel 0,1% C, 18% Cr și 8% nichel, mărește rezistența lui la acțiunea acizilor și permite să se în-lăture tratamentul termic după sudură.



Tabela 26

**Compoziția chimică a oțelului crom-nichel-molibden <sup>1)</sup> și  
modul de întrebuințare**

Compoziția chimică în ‰				Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Cr	Ni	Mo		
0,36—0,44	0,60—0,90	1,25—1,75	0,15—0,25	Piese pentru turbine cu secțiune 150 mm; discuri, arbori, rotoare forjate dintr'o bucată, roțițe de acționare, care lucrează la temperatura de 450 °C. Material de susținere: buloane, prizoane.	Călire în ulei la 850—870 °C, revenire la 600—650 °C.
0,29—0,37	0,60—0,90	2,75—3,25	0,15—0,25	Arborii turbinelor, discuri, rotoare care lucrează la temperatura de 450 °C.	Călire în ulei la 830—850 °C, revenire la 550—620 °C.
0,50—0,60	0,50—0,80	1,50—1,80	0,15—0,30	Pentru ștanțe de ciocan, pentru ciocane prin cădere și acționate cu aburi, care lucrează în condiții grele.	Recoacere la 820—830 °C, călire în ulei la 850—870 °C, revenire la 550—600 °C.
0,60—0,70	0,50—0,80	1,40—1,80	0,15—0,30	Pentru ștanțe mari, cadre, poansoane, ștanțe pentru refuzarea la cald, care lucrează în condiții grele.	Recoacere la 820—830 °C, călire în ulei la 850—870 °C și revenire la 550—600 °C.

<sup>1)</sup> După datele catalogului cu calitățile oțelului, HCM.

La supapele de evacuare ale motoarelor de avion se întrebuințează un oțel refractar crom-nichel cu adaus de wolfram și molibden.

Oțelul cu adaus de siliciu (0,2‰ C, 25‰ Cr, 20‰ Ni și 2,5‰ Si) posedă foarte bune proprietăți refractare.

Un adaus de molibden la un oțel de construcție crom-nichel, îi mărește proprietățile mecanice, adesea apără oțelul contra apariției fragilității la revenire, înlătură pericolul supraîncălzirii oțelului la tratamentul termic și-i mărește sensibilitatea la călire.

Din cauza sensibilității la călire, oțelurile crom-nichel-molibden sunt apreciate mult mai mult decât oțelurile de construcții de alte calități.

Ele posedă proprietăți mecanice superioare (tab. 25) și deaceia se folosesc pentru cele mai importante și cele mai mari piese (tab. 26e).

Oțelul cu 0,60-0,70% C, 0,5-0,8% Cr, 1,4-1,8% Ni și 0,15-0,30% Mo, se întrebuințează la fabricarea ștanțelor pentru ștanțarea la cald.

În cazuri foarte importante, acest oțel se tratează astfel: normalizare la 850-870 °C, recoacere la 730-760 °C, călire la 820-850 °C cu răcire în ulei până la 150-200 °C.

Pentru revenire, piesele se încarcă în cuptorul încălzit la temperatura de 500-550 °C.

Duritatea după revenire:

$$H_B = 290 - 330.$$

#### 48. Oțelurile crom-mangan-siliciu (cromansil)

Folosirea oțelului crom-mangan-siliciu a început relativ recent, însă cu toate acestea el și-a găsit o largă întrebuințare în diferite ramuri ale industriei (tab. 27).

Tabela 27

Compoziția chimică a oțelului crom-mangan-siliciu și modul de folosire

Compoziția chimică în %				Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Cr	Mn	Si		
0,17-0,24	0,80-1,10	0,80-1,10	0,90-1,20	Buloane, piese cu reziliență mărită, tablă.	Călire în ulei la 870-890 °C, revenire la 500-520 °C.
0,15-0,25	0,80-1,10	0,80-1,10	0,90-1,20	Tija pistonului și alte tije.	Călire în ulei, revenire la 640-660 °C.
0,22-0,30	0,80-1,10	0,80-1,10	0,90-1,20	Arbore, roți dințate, osii.	Călire în ulei la 860-880 °C, revenire la 540-560 °C sau 640-660 °C.
0,32-0,39	1,10-1,40	0,80-1,10	1,10-1,40	Oțel pentru piese foarte importante din material de tablă și profile. Înlocuște fabricate care conțin nichel și molibden. Permite sudura în cazuri speciale.	Normalizare la 880 °C, călire în ulei la 860-880 °C și revenire la 500 °C.



Aceasta se explică prin faptul că acest oțel posedă proprietăți analoage proprietăților oțelurilor cu crom-molibden și crom-nichel fără să aibă în compoziția sa elemente deficitare.

În fig. 106 sunt arătate curbele proprietăților mecanice (la diferite temperaturi de revenire) ale oțelului crom-mangan-siliciu întrebuințat în construcția de mașini, unde a obținut o răspândire excepțională.

Cu toate că sudarea acestui oțel este bine studiată, folosirea lui pentru construcții sudate trebuie făcută cu multă atenție.

Pentru sudură se va folosi un electrod special și este necesar să se țină seama de tendința oțelului crom-mangan-siliciu de a se căli la răcirea în aer.

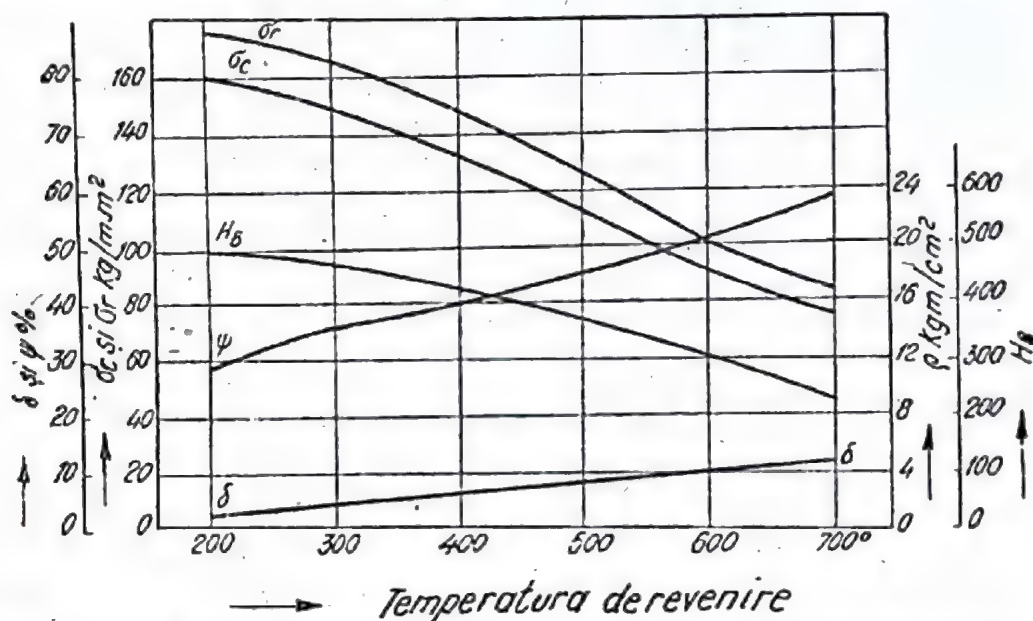


Fig. 106. Proprietățile mecanice ale oțelului crom-mangan-siliciu (0,35% C; 0,81% Si; 1,35% Mn; 1,30% Cr). Călirea epruvetelor la 880 °C în ulei.

Oțelul conținând 0,32...0,39% C, 1,10...1,40% Cr, 0,80...1,10 Mn și 1,10...1,40% Si, după tratamentul termic al probelor cu diametru până 70 mm (normalizare, călire și revenire la 500 °C) are: limita de curgere  $\sigma_c \geq 75$  kg/mm², rezistența la rupere  $\sigma_r \geq 100$  kg, alungire  $\delta \geq 7\%$ , gătuirea la rupere  $\psi \geq 45\%$ , reziliența  $\rho \geq 6,0$  kgm/cm², duritatea Brinell  $H_B \geq 285$ .

Pentru comparație se pot arăta proprietățile oțelului 30 HNZ (cu 2,75...3,25% Ni), care, sub formă de semifabricate cu diametru până la 60 mm, are, după călire și o înaltă revenire:  $\sigma_c \geq 70$  kg/mm²,  $\sigma_r \geq 90$  kg/mm²,  $\delta \geq 7\%$ ,  $\psi \geq 45\%$ ,  $\rho \geq 6,0$  kgm/cm² și  $H_B \geq 255$ .

Oțelul cu crom-mangan-siliciu are tendință spre fragilitatea de revenire și de aceea răcirea lui după revenire, este necesar să fie efectuată rapid.

## OȚELURI RAPIDE

## 49. Particularitățile oțelurilor rapide

Oțelurile rapide au o largă utilizare în industrie, la fabricarea sculelor. Aceste oțeluri își păstrează proprietatea lor de a pătrunde în alte metale (de a tăia alte metale) chiar la o încălzire până la roșu închis, în timp ce sculele sau cuțitele făcute din oțeluri carbon își pierd proprietatea de tăiere când se încălzesc numai până la 350°C.

Elementele de bază ale oțelurilor rapide sunt wolframul, cromul și vanadiul.

În oțelurile rapide, carbonul formează cu cromul, cu wolframul și cu vanadiul compoziții chimice compuse, care se numesc carburi. Cu cât carburile sunt mai fine cu atât proprietățile de tăiere ale oțelurilor rapide sunt mai accentuate.

Pentru a ajunge la piesa fabricată, oțelul rapid trece prin următoarele operații termice:

1) prelucrarea la cald (forjarea sau laminarea lingoului până la piesă semifabricată); 2) recoacerea semifabricatelor; 3) forjarea piesei semifabricate până la obținerea sculei; 4) recoacerea; 5) călirea; 6) revenirea.

Prin prelucrarea la cald se tinde la schimbarea formei lingoului, la distrugerea structurii eutectice a oțelului, la desfacerea carburilor în granule mici și la distribuirea uniformă în secțiune. Aceasta se obține printr-o încălzire a lingoului până la temperaturi ridicate.

Încălzirea acestor oțeluri înainte de forjare sau de laminare trebuie făcută încet, cu mari precauții, întrucât oțelul rapid fiind rău conducător de căldură este foarte sensibil la variațiile brusce ale temperaturii.

De obicei lingoul se introduce în cuptorul rece și apoi se încălzește încet în același timp cu cuptorul până la 850...870°C. După atingerea acestei temperaturi, încălzirea se face mai repede.

Prelucrarea la cald al oțelului rapid trebuie oprită la 900°C, întrucât sub această temperatură se produc în oțel fisuri care se descoperă câteodată după tratamentul termic. Din această cauză forjarea trebuie să se execute în două sau mai multe încălziri. După forjare sau laminare oțelul trebuie să se răcească încet prin acoperire cu un strat de cenușă sau prin introducerea lui în gropi sau cuptoare speciale; după răcire urmează operația de recoacere care este necesară pentru a se obține granule de perlită. Aceasta asigură oțelului o duritate mare și ușurează prelucrarea ulterioară pe mașini-unelte. În același timp, recoacerea până la granule de perlită distruge toate tensiunile interne care iau naștere în timpul forjării sau laminării.



După o recoacere executată în condiții bune, duritatea oțelului trebuie să ajungă la 205...255 unități Brinell (diametrul amprente de 4,20...3,80 mm).

Temperatura de recoacere pentru oțeluri rapide este între 850...930 °C și în majoritatea cazurilor poate atinge 900 °C.

Pentru a proteja piesa semifabricată contra decarburării, recoacerea pieselor se face în cutii ermetice care conțin materiale de neutralizare ca: un amestec de pulitură de fier (90%) cu cărbune (10%), sau var stins uscat, cenușă curată, mică. Impachetarea pieselor semifabricate se face astfel; se acoperă fundul cutiei cu un strat gros de circa 200 mm de material de neutralizare, în care se așează piesele semifabricate formând unul sau mai multe straturi; trebuie să se aibă grijă ca suprafața fiecărei piese să fie în întregime în contact cu masa de neutralizare. Cutiile astfel împachetate se încarcă într'un cuptor încălzit până la temperatura de 200...300 °C, care apoi se încălzește mai departe până la temperatura de recoacere și se menține la această temperatură între 2 și 9 ore, în funcție de mărimea semifabricatelor. După recoacere, răcirea cutiilor cu semifabricate se face foarte lent în cuptorul înfundat (uneori chiar zidit) cu toate registrele tirajelor închise. Sub temperatura de 675 °C răcirea poate fi continuată în aer liber.

Înainte de călire, oțelurile rapide se încălzesc între 1 200...1 340 °C și cu cât temperatura este mai înaltă cu atât scula călită va avea o productivitate mai mare, putându-se încălzi în timpul lucrului până la 550...600 °C fără a-și pierde calitățile de tăiere. Trebuie să se țină însă seama de faptul că în jurul temperaturii de 1 340 °C muchiile ascuțite încep să se deformeze ceea ce nu se admite în cazul burghiilor, alezoarelor și frezelor. La răcirea cuțitelor, care ulterior vor fi supuse la ascuțiri brute pe pietre de polizor, deformarea muchiilor prin înmuiere nu prezintă mare defect și deaceia la călirea lor se poate ajunge până la temperatura de 1 325...1 340 °C. Din contra, la călirea cuțitelor fasonate, a burghiilor, a alezoarelor sau a frezelor, se alege o temperatură mai joasă (1 200...1 280 °C) mai ales pentru motivul că aceste scule nu suferă o încălzire prea mare în timpul tăierii.

Încălzirea oțelurilor rapide la temperaturi înalte se face pentru a transforma într'o soluție solidă o cât mai mare cantitate de carburi simple și compuse, care se formează în oțel în prezența cantităților suficiente de crom, wolfram și vanadiu (combinațiile între wolfram și fier se numesc wolframide). În timpul încălzirii ferita aliată trece în austenită, iar mai târziu, pe măsură ce temperatura crește, se produce disolvarea în soluția solidă a carburilor și wolframidelor.

În oțeluri rapide această disolvare reclamă o temperatură mai înaltă decât în cazul disolvării cementitei în oțelul carbon. Întrucât creșterea intensă a granulelor din masa oțelului și în special a oțelurilor rapide începe la o temperatură superioară celei necesare disolvării

tuturor carburilor, supraîncălzirea oțelurilor rapide într'un timp scurt nu înrăutățește proprietățile lor.

Oțelul rapid în care s'a produs trecerea în soluție solidă a unei cantități cât mai mari de carburi, capătă o stabilitate mare la tăieri rapide, chiar când cuțitul se încălzește până la  $500\cdots 550^{\circ}\text{C}$ .

După cum s'a arătat mai sus, oțelurile rapide au o conductibilitate termică redusă, pentru care motiv în timpul călirii trebuie utilizată o încălzire lentă până la temperatura de  $700\cdots 850^{\circ}\text{C}$ . Pentru atingerea temperaturii finale și mai ales după  $1100^{\circ}\text{C}$ , încălzirea trebuie să fie cât mai rapidă.

Această încălzire accelerată este necesară mai ales pentru faptul că durata prea mare de încălzire poate produce decarburarea suprafețelor sculei ceea ce o va face inutilizabilă. Menținerea pieselor la temperatura maximă nu poate dura decât  $1\cdots 2$  minute și cu cât temperatura finală este mai ridicată cu atât este mai periculoasă menținerea oțelului la această temperatură, deci cu atât mai scurtă trebuie să fie durata de încălzire.

Răcirea oțelurilor rapide se face în ulei sau în curent de aer. Călirea în apă nu este permisă întrucât atrage formarea crăpăturilor (fisurilor).

Structura oțelului rapid, călit, depinde de temperatura de călire. La temperaturi înalte se obține structura austenită-martensită și o cantitate redusă de carburi fine, în timp ce după o călire la temperatură joasă se obține structura martensitică și incluziuni de cristale de carburi.

Nu se poate însă lucra cu o sculă a cărei structură este austenitică, întrucât austenita ca atare este moale, pentru care motiv se procedează la transformarea ei în martensită prin operația de revenire la o temperatură de  $550\cdots 600^{\circ}\text{C}$ .

În acest caz din soluția solidă se separă carburi foarte mici care măresc stabilitatea și rezistența sculei.

Oțelul rapid, călit la temperatură joasă ( $1100\cdots 1150^{\circ}\text{C}$ ), va avea o structură martensitică și incluziuni mai mari de carburi. Un asemenea oțel are o productivitate redusă și nu poate fi utilizat pentru confecționarea sculelor. În acest caz scula trebuie recoaptă și apoi călită din nou în cele mai bune condiții.

Martensita oțelului rapid are o plasticitate considerabilă în comparație cu martensita oțelului carbon. Trebuie remarcat că nici duritatea și nici încercarea cu pila nu caracterizează proprietățile de tăiere ale sculei, care a fost supusă tratamentului termic.

Martensita oțelului rapid nu are prea mare duritate (circa 600 unități Brinell și  $63\cdots 64$  unități Rockwell) dar are însușirea de a menține proprietatea de tăiere la o temperatură de  $550\cdots 600^{\circ}\text{C}$  și această proprietate este cu atât mai sporită cu cât temperatura de călire este mai mare.



Sculele la care nu trebuie să aibă loc decarburarea suprafețelor trebuie să fie încălzite într'un mediu neutru compus, spre exemplu, dintr'un amestec de 50% nisip de cuarț.

## 50. Oțelurile rapide de înlocuire

Având în vedere că wolframul, care intră în compoziția oțelului rapid, este scump și deficitar, în ultimul timp s'a trecut cu mare succes la înlocuirea oțelului rapid cu oțeluri care conțin în mică parte sau nu conțin deloc în compoziția lor wolfram.

În tabela 28 se arată compoziția chimică a oțelurilor rapide și oțelurilor de înlocuire ale acestora.

În oțelurile de înlocuire crăpăturile se formează cu ușurință. Pentru a evita acest neajuns, încălzirea lor înainte de călire se face cu o viteză redusă în comparație cu oțelul de tipul R și RF-1.

Pentru a evita formarea crăpăturilor în cazul unor calități de oțeluri (de exemplu EI-184) operația de călire trebuie să fie precedată de o răcire prealabilă.

Rezultate bune se obțin atunci când călirea oțelurilor de înlocuire se execută în baie de azotat de potasiu la o temperatură de 450...500 °C.

Nu poate fi utilizată în acest scop baia de azotat de amoniu, întrucât acesta corodează sculele.

În tabela 29 sunt arătate condițiile tratamentului termic al sculelor fabricate din oțeluri de înlocuire ale oțelurilor rapide.

De regulă, oțelurile de înlocuire sunt foarte sensibile la ridicarea temperaturii de călire. De exemplu, dacă oțelul EI-262 are la temperatură de 1 220 °C o granulație caracterizată prin gradul 8, la temperatura de 1 240...1 250 °C granulele cresc până la gradul 6.

Sensibilitatea mare la supraîncălzire a oțelului EI-184 se explică prin temperatura joasă la care se încălzește oțelul înainte de călire.

Temperatura prea joasă utilizată la călirea oțelurilor de înlocuire, duce la obținerea durității mari. De exemplu: oțelul EI-260 va avea 63...65 H<sub>Rc</sub> (duritatea Rockwell) iar oțelul I-743 va ajunge la duritatea de 62...63 H<sub>Rc</sub>. Aceasta se explică, așa cum s'a arătat mai sus, prin trecerea insuficientă a carburilor în soluție solidă și prin transformarea acesteia din urmă în martensită, în timpul călirii. Cu toată duritatea mare obținută prin călire, o astfel de sculă trebuie recoaptă și apoi din nou călită în condiții normale. De obicei oțelurile de înlocuire, din cauza temperaturii ridicate, au după călire, o cantitate de austenită reziduală mai mare decât oțelurile rapide normale.

De regulă, pentru a compensa temperatura joasă de călire a oțelurilor de înlocuire, oțelul se menține la temperatura maximă cu 25...50% mai mult decât oțelurile R și RF-1. O durată prea mare de călire poate provoca însă supraîncălzirea materialului. De exemplu, dacă anumite

Compoziția chimică a câtorva oțeluri rapide și a înlocuitorilor lor

Calitatea oțelului	Compoziția chimică în %									
	C	Cr	W	Mo	V	Mn	Si	Ni	S	P
RF-1	0,68—0,80	3,8—4,6	17,5—19,0	0,3 (com. specială)	1,0—1,4	≤0,40	≤0,40	≤0,30	≤0,030	≤0,045
R	0,65—0,78	3,8—4,6	17,0—18,5	0,3 (com. specială)	0,5—0,8	≤0,40	≤0,40	≤0,20	≤0,030	≤0,030
EI-184	0,8—1,0	7,0—9,0	3,5—5,0	—	1,1—1,5	≤0,40	0,5—0,8	≤0,30	≤0,030	≤0,045
EI-260	0,9—1,05	4,0—5,0	—	3,3—4,0	2,0—2,5	≤0,40	≤0,40	—	—	—
EI-262 (ORF-2)	0,85—0,95	4,1—4,6	11,8—12,8	—	2,3—2,6	≤0,40	≤0,40	≤0,30	≤0,030	≤0,075
EI-276	1,0—1,2	3,8—4,6	2,2—2,9	2,4—2,9	2,3—2,8	≤0,40	≤0,40	—	—	—
EI-277	1,2—1,4	3,8—4,6	—	2,4—2,9	2,8—3,3	≤0,40	≤0,40	—	—	—
EI-284	0,98—1,10	4,0—5,0	3,0—3,7	3,8—4,5	2,0—2,5	—	—	—	—	—
EI-290	0,83—1,0	3,6—4,3	2,7—3,3	2,7—3,3	1,5—2,0	≤0,40	≤0,40	—	—	—
EI-313	0,9—1,0	10—12	—	—	2,4—2,8	≤0,40	0,9—1,1	≤0,40	≤0,030	≤0,045
EI-743	0,82—0,92	6,0—7,0	3,5—4,5	—	2,8—3,2	≤0,40	≤0,40	—	—	—
I-823	0,85—0,95	7,0—9,0	2,0—2,5	—	2,4—2,8	≤0,35	0,7—0,9	≤0,30	≤0,030	≤0,045



Tratamentul termic al oțelurilor rapid și al oțelurilor de înlocuire

Calitățile de oțel	Prima preîncălzire		A doua preîncălzire		Temperatura de încălzire finală	Menținerea la temperatura pentru 1 mm grosime (diametru) în s.	Temperatura de răcire	Mediul de răcire	Temperatura mediului de răcire °C	Duritatea după călire	Numărul de reveniri	Durata fiecărei reveniri în ore	Temperatura de revenire °C	Duritatea după revenire
	Temperatura de preîncălzire °C	Menținerea la temperatură pentru 1 mm grosime în s.	Temperatura de preîncălzire °C	Menținerea la temperatură pentru 1 mm grosime în s.										
RF-1	600—550	—	840—870	40	1285—1315	6—8	—	Ulei sau salpetru topit	500—550	60—62	3	1	560	≥ 62
R	600—550	—	840—870	40	1285—1315	6—8	—	Idem	500—550	60—62	3	1	560	≥ 62
EI-172	500—560	80	880—900	40	1225—1245	12	—	"	450—500	55—59	2	1	540—550	≥ 61
EI-184	840—860	40	—	—	1150—1170	9—10	—	"	450—500	54—58	3	1	550	≥ 61
EI-260	600—650	80	840—860	40	1200—1220 <sup>1)</sup>	5—7	—	"	450—500	61—64	2—3	1	630—560	≥ 62
EI-262	600—650	80	820—850	40	1230—1250	5—7	—	"	450—500	60—62	3	1	560	≥ 62
EI-276	—	—	—	—	1115—1145	9	—	Ulei	—	—	2—3	1—1,5	550—560	≥ 63
EI-277	—	—	—	—	(1230—1255)	9	—	"	—	—	2—3	1—1,5	550—560	≥ 63
EI-290	550—560	80	850—880	40	1225—1255	7	—	Ulei fierbinte sau salpetru topit	300—400	58—62	3	1	560	≥ 62
EI-313	—	—	—	—	1220—1250	9—10	—	Ulei sau salpetru topit	450—500	61—62	3	1	525—540	≥ 62
I-748	800—850	—	—	—	1240—1270	3,5—4	900—1000	Ulei	500—550	59—63	2	1	540—560	≥ 62
I-823	—	—	—	—	1210—1250	9—10	—	Ulei sau salpetru topit	500—550	55—59	3	1	560—570	≥ 62

<sup>1)</sup> Temperatura maximă de încălzire a cuștelor din oțel de calitate dată este cu 20 °C mai ridicată decât cea indicată în tabelă

oțeluri de înlocuire sunt menținute la temperatura maximă timp de 3 minute în loc de 2 minute, aceste oțeluri vor căpăta o structură cu creșterea intensă a granulelor și calitatea lor va cobori.

Răcirea în timpul operației de călire se face în ulei sau în baie de azotați la o temperatură de 450...500 °C.

Oțelurile de înlocuire ale oțelurilor rapide au o mare tendință spre decarburare. Pentru a le feri de decarburare în timpul călirii efectuate în cuptoare cu mușle, sculele se acoperă cu un strat de borax. Aplicarea stratului de borax se face după două metode: în unele uzine, după ce sunt încălzite până la 850...880 °C, sculele se presară cu praf de borax, care topindu-se formează stratul de protecție. În alte uzine, sculele încălzite până la 40...50 °C se cufundă pentru câteva minute într-o soluție saturată de borax, încălzită până la fierbere. În felul acesta, după uscare scula rămâne acoperită cu un strat subțire de borax care la temperatura de 850...880 °C se topește și în stare lichidă acoperă toată suprafața sculei.

Al doilea mod de protejare a sculelor cu borax este mai rațional, întrucât în cazul presărării sculelor cu praf de borax, o parte din acesta se scurge pe lături și atacă vatra. În amândouă cazurile se recomandă să se pună sub sculă o foaie de tablă.

Este de dorit ca încălzirea sculelor confecționate din oțeluri rapide aliate simple să se facă în clorură de bariu.

Adăugând apoi în baie, odată sau de două ori într'un schimb, o soluție de 60...70% ferosiliciu sub formă de praf, sau 9% borax, putem evita decarburarea suprafețelor. Deasemenea este bine să se adauge în baie 3...6% oxid de magneziu, de beriliu, de aluminiu sau de zirconiu.

Toate sculele confecționate din oțeluri rapide sau din oțeluri de înlocuire ale oțelurilor rapide, care au muchii ascuțiți, secțiuni mari, precum și cele cu părți subțiri și masive, trebuie răcite în ulei până la temperatura indicată de culoarea roșie, sau în săruri topite sau în plumb până la temperatura de 500...650 °C, cu o răcire ulterioară în aer.

După călire sculele se spală, se sablează, se ajustează și apoi li se aplică operația de revenire. În cele mai multe cazuri revenirea se face în trei etape (câte o revenire pe oră).

Temperatura cea mai potrivită pentru revenire este de 550...560 °C, întrucât o temperatură mai înaltă poate duce la transformarea parțială a martensitei în troostită, ceea ce diminuează cu mult durabilitatea sculelor.

Pentru a proteja sculele confecționate contra coroziunii se procedează la atacarea sculei cu o soluție de 20...25% acid clorhidric timp de 15...20 minute, după ce se face o neutralizare, introducând scula într-o soluție de 10% hidrat de sodiu timp de 30...40 minute.

Sculele pot fi ajustate în stare caldă imediat după răcirea lor în săruri topite (în jurul temperaturii de 600 °C) sau după răcirea lor în ulei până la 600 °C (culoare roșie). După ajustare răcirea acestor scule se face în aer.



Trebue remarcat că în ultimul timp profesorul T. A. Lebedev a studiat și a introdus într'un mare număr de uzine fabricarea sculelor turnate din oțeluri rapide și din oțelurile de înlocuire ale acestora. Procedul arătat reduce considerabil costul sculelor.

### 51. Mărirea durabilității sculelor confecționate din oțeluri rapide

Durabilitatea unei scule confecționate din oțel rapid poate fi ridicată prin călire în trepte, prin revenire de mai multe ori (repetată), prin nitrurare și prin tratament termic la temperaturi negative (sub  $0^{\circ}$ ).

În cazul călirii în trepte scula se încălzește până la temperatura de călire apoi se transportă într'o baie de plumb cu temperatura de  $550\text{--}650^{\circ}\text{C}$  și după o echilibrare a temperaturii (pe toată secțiunea sculei), aceasta se răcește în ulei sau într'un curent de aer. Deformarea sculelor în timpul călirii în trepte este neînsemnată și numai o mică parte din scule trebie rectificată după această operație. De exemplu, la uzina de automobile Stalin, se rectifică 75% dintr'un lot de burghie și alezoare călit în ulei, în timp ce după o călire în trepte nu se rectifică decât 6...7% dintr'un lot de piese.

După operația de călire în trepte urmează operația de revenire în trei etape la o temperatură de  $530\text{--}560^{\circ}\text{C}$ .

În afară de micșorarea crăpăturilor și ridicarea rezistenței, călirea în trepte micșorează indoirea și permite îndreptarea la temperatura ridicată, când oțelul se găsește în stare plastică. În timpul răcirii până la temperatura de  $500\text{--}650^{\circ}\text{C}$ , sculele păstrează soluția solidă un timp destul de lung și din această cauză ele pot fi ușor îndreptate. De exemplu, alezoarele și burghiile cu diametrul de 20 mm și lungimea de 250 mm se pot trata în modul următor: prima încălzire în cuptor cu flacără până la temperatura de  $600^{\circ}\text{C}$ , timp de 30 minute, a doua încălzire până la temperatura de  $850\text{--}880^{\circ}\text{C}$ , timp de 12 minute și încălzirea finală până la temperatura de  $1280\text{--}1330^{\circ}\text{C}$ , timp de 1,5 minute. După menținerea la temperatura maximă, piesele se introduc pentru 20 minute într'un cuptor cald la temperatura de  $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ , apoi se trimit la verificare (cu ajutorul indicatorului) și la corijare (la presă). Trebuie să se țină seama că pentru răcire este mai bine să se utilizeze baia de plumb. După răcirea finală se face revenirea la temperatura de  $530\text{--}560^{\circ}\text{C}$ , timp de 2...3 ore. În urma acestei reveniri, cea mai mare parte de austenită trece în martensită. Totuși austenita oțelului rapid este foarte stabilă și din această cauză o singură revenire nu este suficientă. Ridicarea temperaturii de revenire, cu toate că duce la o descompunere mai mare a austenitei, este totuși însoțită de transformarea parțială a martensitei în troostită. Prezența troostitei scade proprietățile de tăiere ale sculelor.

Pentru transformarea completă a austenitei în martensită, în uzine se aplică revenirea repetată. Trecerea austenitei în martensită este însoțită de ridicarea durității și are loc foarte intens în timpul răcirii.

În afară de transformarea austenitei în martensită, în timpul revenirilor repetate are loc separarea carburilor în granule foarte mărunte și împrăștiate. Această separare este însoțită și de ridicarea durității oțelului cum și a proprietăților lui de tăiere.

Trebuie remarcat că temperatura și durata de revenire depind de compoziția chimică a oțelului și de condițiile de călire.

Productivitatea sculelor de oțel rapid, așa cum s'a arătat în lucrările lui S. S. Steinberg, N. A. Minchievici, A. P. Guleaev și alții, se poate urca prin răcirea sculelor cu mult sub zero grade (de la  $-80^{\circ}\text{C}$  până la  $-100^{\circ}\text{C}$ ). Tratatamentul oțelului la temperaturi negative a fost expus mai înainte.

## 52. Nitrurarea sculelor

În ultimul timp se utilizează nitrurarea în (săruri) cianuri topite, în mediu gazos conținând azot și carbon precum și în prafuri solide pentru sporirea rezistenței sculelor din oțel rapid sau din oțel de înlocuire.

Unii autori denumesc acest proces cianurare. Fenomenele ce au loc în timpul acestui tratament nu sunt studiate încă suficient. Astfel nu se poate afirma cu siguranță că la temperaturi joase, odată cu azotul pătrunde în oțel și carbonul (mai just carbonul servește numai drept catalizator, adică drept accelerator al procesului). Acest proces este numit nitrurare.

Nitrurarea se aplică sculelor gata, în urma cărui fapt duritatea acestora se ridică până la 67...70 unități Rockwell.

Deoarece ascuțirea sculelor este însoțită de apariția în unele locuri a culorilor de revenire care micșorează viteza de nitrurare, pelicula de oxizi care se formează înainte de tratament se îndepărtează pe cale chimică. În acest scop, sculele înainte de nitrurare se degresează și se introduc într-o soluție care se prepară în modul următor: într'un litru de apă se dizolvă 50 g-sulfat de cupru, apoi se adaugă 100 g acid sulfuric și în sfârșit 50 g acid azotic. Temperatura soluției nu trebuie să depășească  $20^{\circ}\text{C}$ . Durata de ținerea sculelor în soluție depinde de compoziția chimică a oțelului (variază de la 3 până la 25 minute) și de fiecare dată se stabilește după aspectul precipitatului de cupru.

La sfârșitul atacării, precipitatul de cupru prezintă crăpături și se desprinde sub formă de pelicule. După atacare, sculele se spală în apă rece, apoi pentru îndepărtarea hidrogenului ele se încălzesc în apă la temperatura de fierbere timp de 3...5 minute. Pelicula de cupru prinsă la suprafață se îndepărtează în urma spălării sculelor în apă.

Temperatura de nitrurare trebuie să fie sub temperatura de revenire a oțelului rapid și anume: pentru oțelurile R, RF-1, EI-262, EI-260,



El-277, în limitele 540...550 °C pentru oțelurile El-184, El-290, în limitele 530...545 °C. Piese de configurație complicată și sculele de mare precizie se tratează la temperatura de 520...530 °C.

Ridicarea temperaturii de nitrurare poate duce la formarea troostitei, la îndoirea sculelor aduse până la dimensiunile date și la apariția unui strat gros fragil. Desigur, trebuie să se observe foarte atent valorile date de termocupluri în timpul revenirii și nitrurării și să se urmărească ca termocuplurile să dea aceleași valori la verificarea lor.

Sculele se pot nitrura numai în cazul când au fost tratate termic corect și au duritatea necesară. Dacă sculele au duritatea scăzută sau au fost călite la temperatură joasă, nitrurarea nu va da rezultate pozitive. La nitrurarea sculelor tratate corect, azotul care se găsește în formă activă la descompunerea cianurilor, pătrunde în oțel și ridică duritatea până la 1000 unități Brinell.

Sculele care se ascut pe o singură muchie tăioasă se nitrurează o singură dată, independent de numărul de reascuțiri. Sculele a căror ascuțire se face pe două muchii, se nitrurează după fiecare ascuțire. Nitrurarea repetată a sculelor ascuțite se poate face numai în cazul când de pe muchiile tăioase s'a îndepărtat tot stratul nitrurat. Altfel, pe porțiunile rămase nitrurate se formează un strat gros care va duce la fragilitate.

Schimbarea volumului în timpul nitrurării este așa de neînsemnată încât nu influențează asupra preciziei sculelor.

*Nitrurarea în săruri topite.* La nitrurarea în săruri topite, sculele gata pentru lucru (după ascuțire și polisare) se încălzesc timp de 5...40 minute la temperatura de 530...560 °C într-o baie de săruri cu una din următoarele compoziții:

1) 50—60% cianură de sodiu ( $\text{NaCN}$ ) + 26—32% carbonat de sodiu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) + 14—18% clorură de sodiu ( $\text{NaCl}$ ) (temperatura de topire fiind 510...515 °C).

2) 30% cianură de sodiu ( $\text{NaCN}$ ) + 45% carbonat de sodiu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) + 25% clorură de sodiu ( $\text{NaCl}$ ) (temperatura de topire fiind 530...535 °C).

3) 96—98% cianură de sodiu ( $\text{NaCN}$ ) + 2—3% carbonat de sodiu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) + adausuri insolubile (temperatura de topire fiind 530...535 °C).

4) 93% ferocianură de potasiu  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  + hidroxid de potasiu ( $\text{KOH}$ ) + 0,35% carbonat de sodiu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) + 0,85% clorură de sodiu ( $\text{NaCl}$ ) + săruri de calciu (temperatura de topire fiind 490...500 °C).

5) 50% cianură de sodiu ( $\text{NaCN}$ ) + 50% cianură de potasiu ( $\text{KCN}$ ).

Durata de nitrurare are mare influență asupra calității sculelor nitrurate. Cu cât durata de nitrurare este mai lungă, cu atât și adâncimea stratului nitrurat se mărește. Un strat gros devine fragil și se





desprinde ușor. Adâncimea de nitrurare se determină lesne prin atacarea secțiunii cu o soluție de 2...4% acid azotic.

Durata de menținere în baie depinde de compoziția oțelului, de temperatura și de concentrația sărurilor. Se recomandă ca nitrurarea sculelor fabricate din oțelurile RFI, R, EI-290, EI-262 și EI-260 în baie conținând peste 50% cianură de sodiu (NaCN), să se facă la temperatura de 545...550 °C timp de 6 minute, pentru zencuitoare, alezoare și burghie, cu diametrul până la 4 mm și timp de 12 minute pentru freze cu diametrul până la 30 mm. În cazul sculelor cu diametru mai mare, durata de nitrurare se mărește cu 2 min pentru fiecare 5 mm diametru. Pentru zencuitoare, burghie și alezoare de dimensiuni mari (cu diametrul peste 30 mm), durata de nitrurare se poate stabili considerând maximum 0,6 min pentru 1 mm diametru și 0,4 min pentru freze cu diametrul peste 60 mm.

La stabilirea duratei celei mai potrivite a operației trebuie să se țină seama de faptul că grosimea stratului nitrurat nu trebuie să depășească 0,004 microni. Broșele nu sunt supuse la loviri de aceea se admite și pentru ele un strat nitrurat mai gros. Sculele cu filet (tarozii, bacurile de filieră), trebuie să aibă un strat cu grosimea mai mică decât zencuitoarele, alezoarele și burghiile. De aceea, pentru aceste unelte durata operației se stabilește cu două minute mai mică (în cazul unor dimensiuni identice). Frezele disc executate din aceleași oțeluri, având grosimea dela 2 până la 15 mm, se țin în baie dela 6 până la 15 min. Cuțitele de strunjit și de rabotat se țin în baie dela 12 până la 40 min.

Pentru oțelurile EI-184, EI-172, EI-277 și EI-276, durata operației de nitrurare (535...575 °C) se ridică pentru sculele de toate dimensiunile, cu două minute.

Unele uzine întrebuițând baia cu 96...98% cianură de sodiu (NaCN) la temperatura de 565...575 °C, țin piesele în baie în modul următor: frezele de filetat cu filet neșlefuit dela 12 până la 20 min, iar pe cele cu filet șlefuit, dela 10 până la 15 min; frezele melc cu dinți neșlefuiți dela 15 până la 30 min și cu dinți șlefuiți, dela 12 până la 16 min; frezele obișnuite frontale și de fasonat, dela 8 până la 30 min; frezele disc, dela 6 până la 15 min; burghiile, dela 10 până la 20 min; alezoarele dela 8 până la 20 min; tarozii dela 8 până la 20 min; bacurile de filiere dela 5 până la 7 min; cuțitele fasonate dela 12 până la 25 min; cuțitele pentru strung, dela 10 până la 15 minute.

În urma acestui tratament se obține un strat nitrurat cu grosimea dela 0,01 până la 0,04 mm. Cu cât dimensiunile sculelor sunt mai mari, cu atât durata de nitrurare este mai mare.

Unele uzine recomandă următoarele durate de nitrurare pentru broșe:

La diametrul până la 25 mm	30 min
La diametrul dela 25 până la 50 mm	40—50 min
La diametrul dela 50 până la 75 mm	60—70 min.



Înainte de introducerea în baie, sculele se încălzesc până la temperatura de 400...450 °C. Încălzirea are ca scop să prevină apariția crăpăturilor și crustei care se formează în jurul sculelor reci în timpul introducerii în baia topită. Prezența acestei cruste împiedică încălzirea rapidă a sculelor.

Cianurile prinse pe suprafață se îndepărtează în timpul spălării sculelor în apă fierbinte. După spălare, sculele se șterg cu o cârpă uscată. Câteodată se face o neutralizare suplimentară timp de 1 h în soluție de 10% hidroxid de potasiu (sau hidroxid de sodiu) sau sodă calcinată, urmată de ștergere cu cârpe uscate.

În timpul funcționării băii cu cianură are loc evaporarea componentelor volatili și întărirea sărurilor. Pentru a evita întărirea și a menține concentrația necesară băii, aceasta se completează cu cianură calitativ superioară (80...92% NaCN).

Nitrurarea este foarte simplă și din această cauză poate fi aplicată în orice uzină.

Băile cu cianură dau un randament mare.

Acest procedeu are perspective mari de dezvoltare, deoarece permite mărirea rezistenței nu numai a sculelor tăietoare, dar și a celor de măsurare.

Față de metoda de nitrurare cu ajutorul amoniacului, răspândită destul de mult, acest procedeu se deosebește prin durata mai scurtă a procesului.

Cianurile sunt vătămătoare sănătății și din această cauză trebuie respectate măsurile de siguranță în timpul lucrului.

Cianura de sodiu degajază vaporii albi. Cu toate că acești vapori nu prezintă un pericol mare, ei atacă și inflamează membrana mucoasă a nasului și gâtului. Pentru protecția contra vaporilor degajați de cianură, sunt necesare ventilatoare puternice.

*Nitrurarea în mediu gazos.* Nitrurarea în mediu gazos prezintă o serie de avantaje în comparație cu nitrurarea în săruri topite și anume: se ieftinește procesul de nitrurare, se înlătură întreținerea cianurilor (săruri greu de procurat și scumpe), se micșorează pericolul de intoxicare (procesul nu este atât de dăunător sănătății) și scade fragilitatea stratului nitrurat.

Un mare neajuns al nitrurării cu gaze este necesitatea de a avea o instalație complicată pentru obținerea gazului necesar. Gazul se obține de regulă prin piroliza (descompunere) petrolului sau în instalație de generatori. Totuși nu este exclusă posibilitatea utilizării în acest scop de exemplu a gazului de iluminat.

Nitrurarea în mediu gazos constă în următoarele: scule de oțel rapid sau de oțeluri de înlocuire cu duritatea de cel puțin 62 Rc, se degresează, se spală și se usucă. După îndepărtarea sărurilor sau altor particule prinse pe suprafață, sculele se supun tratamentului chimic pentru eliminarea culorilor de revenire formate în timpul ascuțirii și



se introduc în cutii, astfel ca distanța între suprafețele nitrurate să fie de 5...10m ilimetri. După aceasta, cutiile se introduc în cuptorul închis ermetic și se face încălzirea acestuia timp de 30...45 minute. În acest timp, în cuptor se trimite gazul de piroliză sau de generator, ceea ce ferește suprafața sculelor de oxidare.

După încălzirea sculelor, gazul de piroliză se amestecă cu amoniac în raport  $\frac{1}{2}$  sau  $\frac{2}{5}$  (în cazul gazului de generator acest raport va fi diferit) și se începe procesul nitrurării.

Amestecarea gazului de piroliză cu amoniac se face sau inițial într'un vas de amestecare, sau direct în cuptorul unde se încălzesc sculele. Curentul de gaz trebuie să fie astfel ca presiunea în cuptor să nu depășească 75...100 milimetri coloană de apă.

În cazul unei încărcături mari de piese precum și în cazul sculelor de dimensiuni mari, cantitatea de gaz care se trimite în cuptor trebuie mărită. Totuși este necesar ca raportul dintre amoniac și gazul de piroliză să se păstreze la cifrele arătate mai sus.

Temperatura de nitrurare trebuie să fie cu 5...10 °C sub temperatura de revenire a sculelor. Durata de menținere a sculelor în cuptor, la nitrurarea fără preîncălzire, depinde de dimensiunile lor și poate fi stabilită în fiecare caz în parte, ținând seama de datele din tabela 30. Adâncimea stratului nu trebuie să depășească 0,03...0,04 mm.

Răcirea sculelor după nitrurare se face sau la aer, sau în nisip. Sculele capătă astfel o duritate până la 70 Rc și devin mai dure decât la nitrurarea în săruri topite sau în curent de amoniac.

Se recomandă ca sculele nitrurate să fie supuse revenirii la temperatura de 300 °C.

Gazele folosite sunt vătămătoare sănătății și din această cauză ele trebuie aprinse la ieșirea din coș. După mărimea flacării, se poate judeca stabilitatea procesului. Gazele ce ies din cuptor în timpul deschiderii capacului sunt captate într'o nișă prevăzută cu o bună instalație de ventilare. Înainte de a deschide capacul se întrerupe accesul amoniacului, iar după eliminarea amoniacului din cuptor, se închide gazul de piroliză sau de generator.

Odată pe schimb se ia o probă de gaze (din cele ce intră în cuptor și din cele folosite) pentru analiză. Compoziția gazului trebuie să fie astfel ca să se evite depunerile de negru de fum pe sculele ce urmează să fie tratate.

*Nitrurarea sculelor cu substanțe solide.* O serie de neajunsuri frânează răspândirea în industrie a procesului nitrurării în săruri topite și în mediu gazos.

Nitrurarea în substanțe solide (în prafuri) se caracterizează prin simplitate și este mai puțin periculoasă în comparație cu nitrurarea în săruri lichide.

În timpul executării procesului, praful de nitrurare nu trebuie să se aglomereze și nu trebuie să degaje gaze toxice. El constă dintr'un



**Durata de nitrurare a diferitelor scule la temperatura de 550—570 °C**

Denumirea sculelor	Dimensiunile în mm	Durata de nitrurare în min.
Frezele disc cu grosimea . . . . .	până la 3	45—60
" " " " . . . . .	3—5	60—75
Freze disc cu grosimea . . . . .	5—10	75—90
Idem . . . . .	10—15	90—105
" . . . . .	>15	105—120
Freze frontale, cilindrice, fasonate, și alte freze cu diametrul până la . . . . .	20	75—90
Idem . . . . .	20—30	90—105
" . . . . .	30—50	105—120
" . . . . .	>50	120—135
Freze de filetat cu diametrul de . . . . .	până la 30	75—90
Idem . . . . .	30—50	90—105
" . . . . .	>50	105—120
Piepteni pentru tăierea dinților, bacuri de filieră Zencuitoare și alezoare cu diametrul până la . . . . .	—	30—105
Idem . . . . .	10	60—75
" . . . . .	10—15	75—90
" . . . . .	15—20	90—105
" . . . . .	20—30	105—120
" . . . . .	>30	120—135
Cuțite fasonate (radiale și tangențiale) . . . . .	—	90—120
Burghie, broșe cu diametrul până la . . . . .	15—20	60—75
Idem . . . . .	20—25	75—90
" . . . . .	25—30	90—105
" . . . . .	>30	105—120
Cuțite de strunjit și rabotat . . . . .	—	90—120
Cuțite pentru strung . . . . .	—	75—90
Tarozi cu diametrul . . . . .	până la 10	45—60
Idem . . . . .	10—15	60—75
" . . . . .	15—20	75—90
" . . . . .	20—30	90—105
" . . . . .	>30	105—120

amestec alcătuit din 60% cărbune de lemn, 30% fero- sau ferici-  
nură de potasiu și 10% sodă calcinată. Soda trebuie să fie curată  
și să nu conțină sulf. Cărbunile de lemn și sarea se macină și se  
usucă la temperatura de 200 °C timp de 1...2 ore înainte de între-  
buințare.

Părțile tăioase ale sculelor destinate nitrurării, se curăță de petele  
de ulei și de rugină și se introduc în cutii astfel ca distanța între  
suprafețele ce urmează să fie nitrurate, precum și distanța între piese  
și pereții cutiei să fie de minimum 5...8 mm. Cutiile se închid cu un  
capac, se leagă cu sârmă și se introduc în cuptor.

Nitrurarea se face la o temperatura cu 10...15 °C sub tempera-  
tura de revenire a sculelor ce se tratează. Sarea și soda topite la  
această temperatură, se îmbibă cu cărbune și din această cauză tot  
amestecul se găsește în stare de praf, puțin umezit.

Praful utilizat o singură dată se adaugă în cantitate de 20...30%  
la un amestec nou și înafară de aceasta praful servește pentru com-  
plectarea cutiilor în locurile unde el nu vine în contact cu suprafața  
sculelor ce urmează să fie nitrurate.

Menținerea sculelor la temperatura de 550...570 °C timp de o oră,  
permite să se obțină un strat nitrurat cu adâncimea de 0,05 mm.

În tabela 31, se dă durata de menținere a diferitelor scule la ni-  
trurare în praf conform datelor lui V. V. Cernășev.

Tabela 31

Durata de nitrurare în praf a diferitelor scule

Denumirea sculelor	Dimensiuni principale mm		Durata de nitrurare h
	Diametrul	Pasul filetului	
Freze de filetat . . . . .	35-40	2	1,5-2,0
Freze "melc" . . . . .	35-40	2,5-3,5	2,5-3,0
Tarozi . . . . .	M-4,25	—	3,0
Burghie . . . . .	până la 10	până la 2	1,5-2,0
" . . . . .	10-25	mai mare de 2	2,0-3,0
" . . . . .	până la 5	—	0,5-1,0
" . . . . .	5-10	—	1,0-2,0
" . . . . .	10-25	—	2,0-3,0
Burghie de prelucrare brută . . . . .	70	—	1,5-2,0
Burghie de finisare . . . . .	60-70	—	2,5-3,0
Cuțite fellows . . . . .	90	—	1,5-2,0
" de degroșare . . . . .	—	—	1,0-1,5
" de canelat . . . . .	—	—	1,5-2,5
" disc de filetat . . . . .	—	—	2,0-3,0
" Gorbeck . . . . .	—	—	2,5-3,0



La nitrurarea în cutii de dimensiuni medii, la durata de nitrurare se adaugă încă 0,5 ore pentru încălzire.

Scoaterea sculelor se face după răcirea cutiilor până la temperatura de 100...200 °C într-o încăpere ventilată.

Praful se îndepărtează ușor de pe sculele calde, cu ajutorul unei perii.

Sculele răcite la aer se spală în apă fierbinte și în stare uscată se freacă cu o cârpă îmbibată în ulei.

## CAPITOLUL X

### PRELUCRAREA METALELOR LA RECE PRIN PRESARE

Foarte des, metalele se supun prelucrării prin presare care constă în: laminare, forjare, ștanțare, trefilare și presare la prese. Aceste operații au scopul să schimbe atât forma și dimensiunile metalului cât și structura lui internă.

Asupra proprietății metalelor de a se deforma, are o mare influență temperatura la care se face prelucrarea. În funcție de temperatură, se disting două feluri de prelucrări prin presare: la cald și la rece.

Prelucrarea la rece se aplică în cazurile când este necesar să se obțină un material cu dimensiuni precise și cu suprafața curată fără prelucrare la mașini unelte, precum și cu anumite proprietăți mecanice.

Până în prezent nu s'a reușit să se obțină dimensiuni precise cu ajutorul laminării la cald. De exemplu în timpul laminării la cald a tablelor bimetalice cu grosimea de 6 mm, neuniformitatea în ceea ce privește grosimea tablei ajunge până la 6 %. În timpul prelucrării la cald, tablele groase, cu dimensiuni relativ precise, pot fi obținute cu lățimea până la 600 mm, în timp ce pentru table subțiri, această lățime este prea mare și duce la o diferențiere mare în grosime, la margini și în mijloc. Neuniformitatea în lățime este provocată de în-  
doirea și uzura valțurilor.

Neuniformitatea tablelor în grosime poate duce în timpul prelucrării la rece, la formarea cutelor, la apariția crăpăturilor și la încrețire.

În timpul prelucrării la cald, are loc un proces dublu de schimbare a granulelor.

Pe de o parte, granulele sub presiunea ciocanului sau a valțurilor laminorului se întind și se mărunțesc, iar pe de altă parte, sub influența căldurii ele capătă o formă echiaxială. Dacă temperatura va fi suficient de înaltă, toate granulele întinse vor lua forma echiaxială. Acest proces se numește recrystalizare.

La prelucrarea la rece, procesul recrystalizării nu are loc sau se face insuficient, metalul se ecruisează, adică se întărește, iar granulele păstrează forma lor alungită într-o singură direcție (fig. 107).

Astfel, prelucrarea la rece prin presare, este prelucrarea la care deformarea are loc sub temperatura de recrystalizare (granulele rămân întinse).

La unele metale procesul recrystalizării are loc chiar la temperatura sub cea a camerei (de exemplu plumbul). La aceste metale prelucrate la rece, ca și prelucrarea la cald a metalelor cu fuzibilitatea înaltă va lipsi ecruisajul.

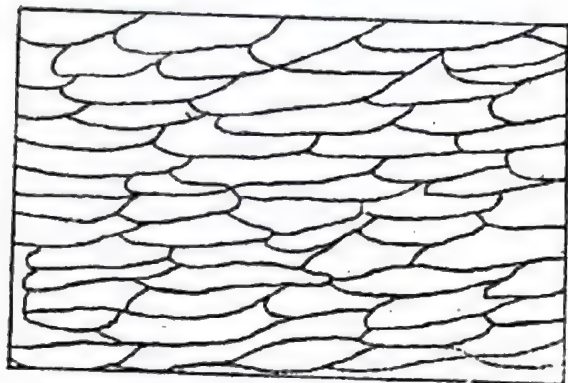


Fig. 107. Granulele ecruisate.

De obicei, operației de prelucrare la rece prin presare, se supun metalele prelucrate la cald, având grosimea de maximum 3...6 mm.

Pentru obținerea tablelor groase cu dimensiuni precise, laminarea la cald se termină la grosimea cu 1...2 mm mai mare decât dimensiunea prescrisă, apoi dimensiunile precise se obțin prin laminare la rece.

Prelucrarea lingourilor la rece nu este economică, deoarece sunt necesare agregate puternice, crește numărul de operații etc. De sigur, în unele cazuri, trebuie să se aplice această prelucrare, deoarece prelucrarea la cald a unor materiale (de exemplu a maillechortului, plumbului, etc.) prezintă dificultăți.

Dacă în timpul prelucrării la cald gradul de ecruisare a fost mare iar temperatura sfârșitului prelucrării scăzută, metalul se supune recoacerii pentru îndepărtarea ecruisajului. Ulterior metalul se atacă cu soluție 8...12% acid sulfuric pentru îndepărtarea scoriei obținute în timpul prelucrării la cald și recoacerii, apoi se spală, se usucă și se șabăruie pentru îndepărtarea defectelor (fisurilor, reprizelor, denivelărilor etc.) După șabăruire, metalul se prelucrează la rece prin presare. Se recomandă ca după atacare metalul să se supună încălzirii timp de 2...3 ore, la temperatura de 200 °C, pentru îndepărtarea hidrogenului absorbit în timpul atacării. Prezența hidrogenului favorizează formarea crăpăturilor la deformarea metalului la rece.

De foarte multe ori, prelucrarea la rece este însoțită de recoaceri intermediare. În acest caz, după fiecare recoacere se face atacarea.

### 53. Influența ecruisării asupra proprietăților mecanice

Granulele din care sunt formate metalele prezintă așa numitele planuri de alunecare, după care, în timpul prelucrării la rece, are loc deplasarea unor părți ale granulelor față de altele. De obicei cristalele



prezintă câteva planuri de alunecare. Deplasarea care începe într'un singur plan, încetează repede și începe în alt loc după un nou plan de alunecare și așa mai departe. Întărirea porțiunilor de granule care suportă foarte ușor alunecarea, duce în ultima analiză la întărirea întregului material și la micșorarea plasticității.

Planurile de alunecare sau liniile de deplasare au direcție diferită în diferitele cristale ale aceluiași metal. În fig. 108 se văd clar liniile de deplasare la oțelul moale.

Câteodată, în special după recoacerea metalului ecruiat, apar linii duble, paralele sau deformate. Datorită orientării cristalografice diferite, metalul nu este atacat la fel între aceste linii. Aceste deplasări se numesc dublete. Dubletele se formează ușor în cupru, în aliajele lui și în oțeluri austenitice.

Fig. 109 prezintă microstructura bronzului cu aluminiu, cu formarea dubletelor și cu liniile de deplasare.

Până în prezent, cauza formării dubletelor nu este stabilită. În timpul prelucrării la rece, suprafața metalului devine mai puțin netedă decât înainte de prelucrare. Neuniformitatea suprafeței depinde de mărimea granulei inițiale și de grosimea materialului. Dacă granulele și deformarea vor fi mici, neuniformitățile arătate mai sus nu se pot observa cu ochiul liber, iar suprafața va părea mată. Totuși și în acest caz, șlefuirea și polisarea se vor face cu greutate.

Formarea suprafeței cu asperități se explică prin aceea că, la întinderea metalului, ies la suprafață unele muchii ale cristalelor.

Ecruierea influențează mult asupra proprietăților metalelor. În unele cazuri variația proprietăților atinge 400% față de cele inițiale.

Rezistența de rupere, limita de elasticitate, limita de proporționalitate și duritatea cresc prin ecruiere, în timp ce alungirea, gătuirea și reziliența se micșorează. Plasticitatea scade cu atât mai mult cu cât ecruierea este mai mare.

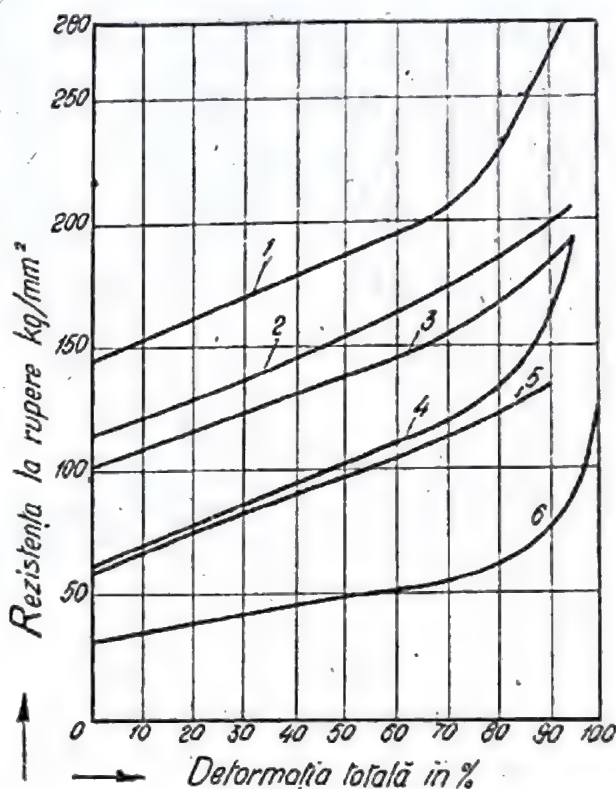


Fig. 110. Variația proprietăților mecanice în funcție de gradul de deformare:

1 — sârmă de plan patentată ( $C=0,90\%$ ); 2 — sârmă de arcuri patentată ( $C=0,70\%$ ); 3 — sârmă de cablu patentată ( $C=0,56\%$ ); 4 — sârmă de cablu patentată ( $C=0,30\%$ ); 5 — sârmă de ace recoaptă ( $C=0,90\%$ ); 6 — fierul Armco ( $C=0,02\%$ ).

În cazul ecruisării prea mari, când limita de curgere se apropie de rezistența de rupere, iar alungirea scade mult, metalul devine așa de rigid încât o mică deformare reziduală provoacă ruperea lui.

Scăderea tenacității oțelului după prelucrare la rece, va fi mai mare în direcția transversală decât în cea longitudinală. În acest caz, cu cât granulele materialului inițial sunt mai mari, cu atât tenacitatea scade mai mult. Se recomandă ca deformarea maximă să se facă în direcția longitudinală.

Variația proprietăților are loc cu atât mai puternic cu cât gradul de deformare este mai mare.

În fig. 110 se dau curbele cu variația rezistenței de rupere a oțelurilor carbon, în funcție de gradul de deformare.

Ecruisarea favorizează coroziunea metalului.

#### 54. Factorii care influențează asupra capacității de deformare a metalului

Procedeul de elaborare a oțelului și conținutul lui de carbon are influență asupra variației proprietăților mecanice în timpul ecruisării. Acest lucru poate fi caracterizat de următoarele date relative la creșterea rezistenței de rupere, la deformarea de 40%:

- oțel necalmat moale 10 kg/mm<sup>2</sup>;
- oțel calmat (desoxidat) moale 18 kg/mm<sup>2</sup>;
- oțel tare 22 kg/mm<sup>2</sup>.

Efortul depus în timpul deformării, depinde de compoziția chimică și de proprietățile metalelor, de proprietatea acestora de a se deforma, de forma și de tratamentul sculelor și de starea suprafeței acestora (în cazul trefilării și întinderii), de sistemul de ungere și de condițiile de frecare, de viteza și de temperatura de deformare.

Mai ușor se deformează metalul pur și aliajele cu soluție solidă omogenă. Capacitatea metalelor pure de a se deforma la rece, este diferită. Dintre metalele tehnice, nichelul are această proprietate în cea mai mare măsură, aluminiul foarte puțin, iar cuprul și oțelul moale au valori mijlocii în ceea ce privește proprietatea de ecruisare.

Prezența structurii neomogene micșorează proprietatea de deformare a metalelor. În acest caz, cu cât structura este așezată mai uniform, cu atât metalul se deformează mai bine.

În unele cazuri, prezența compușilor chimici face imposibilă deformarea metalului la rece.

Oțelul destinat prelucrării la rece, trebuie să aibă structura sorbitică, sau perlitică cu granule mici distribuite uniform. Dacă structura semifabricatului va prezenta aglomerări de ferită și va fi supraincălzită, oțelul se va deforma neuniform, ceea ce va duce la apariția crăpăturilor.



În practică se ține de foarte multe ori seamă de faptul că ecruisarea schimbă proprietățile metalului și pentru obținerea anumitor proprietăți, se transmite intenționat o anumită deformare.

La răcirea metalului lichid se formează micropori.

Dacă deformarea va fi mică, metalul devine mai compact adică densitatea lui crește. În cazul deformărilor prea puternice, odată cu această îndesare, are loc alunecarea cristalelor și formarea dubletelor. Aceasta duce la faptul constatat că în urma deformării puternice se observă micșorarea densității.

În tab 32 se dau datele relative la variația densității sub influența deformării.

Tabela 32

Influența deformării asupra densității diferitelor metale <sup>1)</sup>

Denumirea metalelor	Densitatea		Micșorarea densității în urma prelucrării în %
	În stare nedeformată	În stare întinsă	
Platină curată . . . . .	21,4403	21,4133	0,13
Platină-rodii . . . . .	21,4938	21,4766	0,08
Aur . . . . .	19,2601	19,2504	0,05
Sărmă de aluminiu . . . . .	2,7030	2,6995	0,13
Tablă de aluminiu . . . . .	2,7127	2,7107	0,07
Cadmiu . . . . .	8,6434	8,6379	0,06
Nichel . . . . .	8,8439	8,7599	0,19
Sărmă de pian . . . . .	7,7970	7,7772	0,25
Argint . . . . .	10,4475	10,4410	0,06
Cupru . . . . .	8,8317	8,8313	0,00
Staniu . . . . .	7,2831	7,2827	0,00

<sup>1)</sup> I. A. Iuhveț și T. M. Alexeenco, Trefilarea la rece a metalelor neferoase, ONTI, 1938.

## 55. Recoacerea metalului ecruisat

Pentru a reda metalului proprietățile lui anterioare se aplică recoacerea în timpul căreia are loc recrystalizarea. Temperatura de recrystalizare depinde de compoziția chimică a metalului, de gradul de deformare, de durata de menținere și de mărimea granulelor materialului inițial. Prezența corpurilor străine împiedică procesul recrystalizării.

A. A. Bocivardă următoarea formulă pentru determinarea temperaturii de recrystalizare a metalelor pure:

$$T_{\text{recr}} = 0,4 T_{\text{top.}}$$

Pentru aliaje și soluții solide, temperatura se găsește ceva mai sus decât cea calculată după formula lui Bocivar.

Temperaturile la care în mod practic începe recrystalizarea după o ecrusare însemnată este de  $200^{\circ}\text{C}$  în cazul cuprului, aurului și argintului; pentru oțel moale și platină  $450^{\circ}\text{C}$ ; pentru nichel  $660^{\circ}\text{C}$ ; pentru wolfram  $1200^{\circ}\text{C}$ ; pentru molibden  $900^{\circ}\text{C}$ ; pentru aluminiu și magneziu  $150^{\circ}\text{C}$ ; pentru zinc  $20^{\circ}\text{C}$ ; pentru staniu și plumb sub zero grade.

Totuși, la aceste temperaturi recrystalizarea are loc atât de încet încât este necesară o durată de menținere foarte mare pentru terminarea completă a procesului. Din această cauză recoacerea se face la temperaturi mai înalte: în cazul cuprului la temperatura de  $500\cdots 650^{\circ}\text{C}$ , a oțelului moale la  $600\cdots 750^{\circ}\text{C}$ , a aluminului la  $400\cdots 450^{\circ}\text{C}$ .

În timpul încălzirii metalului ecrusat, sub influența căldurii vor avea loc schimbări în structură: alături de granulele inițiale întinse sau turtite, se nasc granule noi mici, orientate diferit și echiaxiale.

Formarea granulelor se face la margini, în special în locurile de unire a trei granule și pe liniile de deplasare. În acest caz are loc distrugerea totală sau parțială a structurii inițiale.

Granulele inițiale nu se distrug deodată ci treptat, pe măsura creșterii numărului granulelor noi. Granulele noi pot atinge dimensiuni foarte mari și din această cauză durata de menținere a metalului ecrusat la temperatura dată se stabilește exact. Trebuie remarcat că în metalul ecrusat recopt, dimensiunile granulelor variază foarte mult în aceeași bucată. Odată cu granulele mari vor exista și granule mici.

Dimensiunile granulelor depind de gradul de deformare. În aceleași condiții de încălzire granulele vor fi cu atât mai mari cu cât deformarea a fost mai slabă. O deformare foarte mare nu este însoțită de creșterea dimensiunilor granulelor în timpul încălzirii și metalul își păstrează granulele în dimensiunile inițiale.

Această lege a creșterii granulelor se aplică aproape pentru toate aliajele studiate din acest punct de vedere. Excepție face oțelul cu conținut redus de carbon (cu conținut de carbon până la  $0,15\%$ ) care dă mărimea maximă a granulelor la așa numitul grad critic de deformare.

Deformările mai mari sau mai mici decât deformarea critică, au un efect mai mic în ceea ce privește creșterea granulelor.

O durată de menținere mare în timpul recoacerii de recrystalizare, poate duce la formarea granulelor prea mari. Granulele mari ale metalului ecrusat recopt pot fi transformate în granule mai mici prin recoacere la temperatura deasupra punctului  $A_{c3}$ .

În prezent, s'a stabilit legea variației mărimii granulelor în metale, în funcție de temperatura de încălzire și de gradul de deformare.

La încălzirea metalului ecrusat, la început are loc formarea granulelor noi, al căror număr crește până când vor dispărea granulele



vechi. După aceasta granulele noi încep să crească. Caracterul acestei creșteri depinde de gradul de deformare la rece, de temperatură și de durata de menținere și anume:

1) Cu cât gradul de deformare este mai mare, cu atât temperatura de recristalizare este mai joasă.

2) Cu cât gradul de deformare este mai mare, cu atât granulele formate din nou sunt mai mici. La deformarea prea puternică (presiune peste 500%) nu se formează granule mari nici la temperaturi ridicate de încălzire.

3) Cu cât încălzirea se face la temperatură mai înaltă și cu cât durata de menținere este mai lungă, cu atât granulele cresc mai mult.

4) Aplicând oțelului cu puțin carbon un grad anumit de deformare concomitent cu temperatura de încălzire, granulele cresc și ating dimensiuni maxime.

5) Cu cât temperatura de recristalizare este mai joasă, cu atât încălzirea necesară recristalizării trebuie să fie mai îndelungată și cu atât granulele formate din nou sunt mai mici.

6) Cu cât granulele materialului inițial înainte de deformare sunt mai mici, cu atât temperatura de recristalizare este mai joasă.

7) Decarburarea poate duce la formarea granulelor foarte mari, pe suprafață.

Recristalizarea este însoțită de schimbarea proprietăților mecanice ale metalului.

În fig. 111 se găsesc curbele cu variația rezistenței de rupere, a alungirii și a solubilității în soluția de 10% acid sulfuric, în funcție de temperatura de revenire a metalului ecruisat.

În loc să se obțină proprietățile mecanice direct prin ecruisare fără revenire, în practică, în majoritatea cazurilor se obțin anumite proprietăți mecanice cu ajutorul ecruisării, urmat de revenire.

Presupunem că trebuie să fabricăm un oțel cu rezistența de rupere de circa 50/kg/mm<sup>2</sup>. Pentru aceasta oțelul se supune prelucrării la rece, iar temperatura de revenire se alege pe diagrama de variație a proprietăților metalului ecruisat în funcție de temperatura de încălzire (fig. 111). Această temperatură va fi aproximativ de 575 °C.

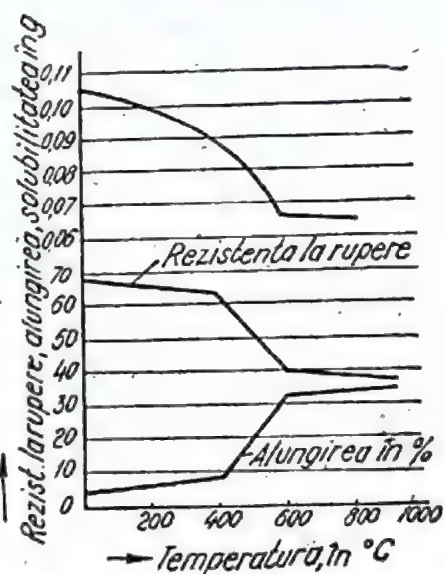


Fig. 111. Variația proprietăților mecanice și a solubilității în soluția de 10% acid sulfuric, în funcție de temperatura de revenire a metalului ecruisat.

Știind gradul de ecruisare și dimensiunile piesei gata, va fi ușor să se determine grosimea la care trebuie executată recoacerea:

$$H = h \left( 1 + \frac{a}{100} \right) \text{ mm}$$

unde  $H$  este — grosimea la care trebuie să se facă recoacerea;

$h$  „ — dimensiunea piesei gata;

$a$  „ — procentul de deformare.

Proprietățile materialului încercat imediat după ecruisare se deosebesc mult de proprietățile aceluiași material după o revenire neînsemnată sau după trecerea unui timp îndelungat.

Încălzirea metalului ecruisat până la temperatura de 100...300 °C, accelerează schimbarea proprietăților mecanice, adică ridică rezistența și coboară plasticitatea și proprietățile de tenacitate (rezistența) ale oțelului.

Comparând rezistența de rupere și limita de elasticitate a materialului ecruisat după revenire la temperatura joasă și fără revenire, vom afla că materialul nerevenit are valori mai mari de rezistență de rupere, dar are cu mult mai mici valori în ceea ce privește limita de elasticitate. Deoarece pentru majoritatea construcțiilor un rol foarte important îl are limita de elasticitate, materialul ecruisat trebuie supus revenirii la temperatură joasă.

La utilizarea materialului ecruisat, trebuie să se ia în considerare faptul că în anumite condiții de lucru (de exemplu la temperaturi ridicate) piesele fabricate din material ecruisat pot să piardă o parte din proprietățile lor.

## 56. Ecruisarea suprafețelor pieselor cu ajutorul alicelor

Crearea unei ecruisări la adâncimea de 0,15...3 mm pe suprafața pieselor, duce la ridicarea duratei de lucru a acestora în timpul încercărilor cu sarcini de sens variabil (întindere și contracție).

Deoarece multe piese lucrează cu sarcini de sens variabil (alternative) acest fenomen se utilizează pe scară largă în industrie. După datele lui A. D. Assonov, prin ecruisare, arborii cutiei de viteze, roțile dințate pentru mersul înapoi al automobilului își sporesc durata de funcționare de 4...5 ori, arborii cotiți de 9 ori, iar arcurile spirale de 13...14 ori.

Întărirea superficială se face cu alice de oțel călit sau de fontă. Alicele de oțel sunt mai rezistente, dar fabricarea lor este costisitoare. Mai ieftine, dar și mai puțin rezistente sunt alicile fabricate din fontă albă (3,45% C, 1,8% Si, 0,55% Mn, — N. F. Bolhovitinov). Diametrul alicelor variază, în funcție de piese, de la 0,4 până la 2 mm. De exemplu, arborii cotiți și biețele sunt suflate cu alice având diametrul de 0,13...0,76 mm, arcurile de supapă — 0,5 mm. Cu cât alicile sunt mai mici, cu atât suprafața este mai curată. Alicele mai mari



provoacă o ecruisare mai puternică, dar suprafața devine aspră. În unele cazuri prelucrarea cu alice permite să se excludă șlefuirea și polisarea pieselor.

Alicele se trimit cu ajutorul unei turbine pe suprafața pieselor care se pun în mișcare, pentru ca ecruisarea să se facă uniform pe toată suprafața lor. În urma loviturilor provocate de alice, la început are loc ecruisarea superficială, iar apoi defectele superficiale se netezesc și dispar.

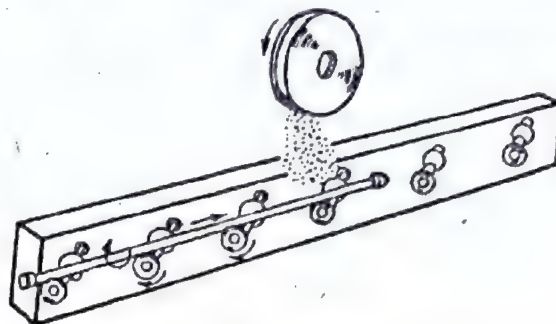


Fig. 112. Schema instalației pentru ecruisarea arborilor cu ajutorul alicelor.

Gradul de ecruisare superficială provocată de alice are o mare importanță și din această cauză operația se controlează cu atenție. În acest scop, o placă din oțel de arc cu dimensiunile de  $75 \times 20 \times 1,2$  mm (sau  $75 \times 20 \times 2,4$  mm în cazul prelucrării intense) cu duritatea  $H_{Rc} = 44 \dots 55$ , se supune acțiunii

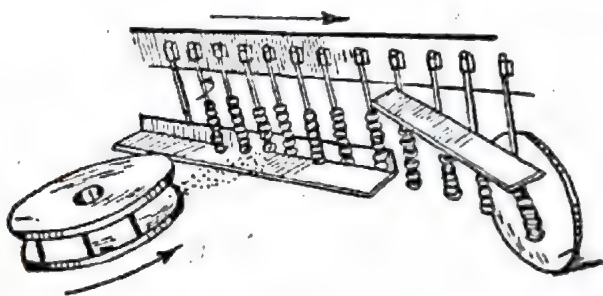


Fig. 113. Schema instalației pentru ecruisarea arcurilor supapei cu ajutorul alicelor.

alichelor. Sub influența ecruisării dintr'o singură parte, placa se îndoaie. Măsurând săgeata cu ajutorul indicatorului, se află intensitatea de prelucrare. O intensitate prea mare de prelucrare poate duce la apariția crăpăturilor. Pentru fiecare din piese trebuie determinat pe cale experimentală intensitatea optimă de prelucrare și săgeata

corespunzătoare acestei intensități.

Ecruisarea cu ajutorul alicelor se aplică atât pieselor din fontă cât și celor din aliaje ușoare.

În fig. 112 și 113 se arată instalațiile pentru ecruisarea arborilor de torsiune și a arcurilor supapelor cu ajutorul alicelor.

## CAPITOLUL XI

### FORTELE

Fontă se numește orice aliaj oțel-carbon, care conține dela 1,7 până la 6,67% carbon.

În afară de carbon, fontele conțin siliciu, mangan, fosfor și sulf. Conținutul acestor impurități în fontă, este mult mai mare decât în oțel, datorită procedurii de elaborare.

Fontele care conțin până la 4,30% carbon, se numesc hipoeutectice, cele cu peste 4,30% carbon hipereutectice și în sfârșit cele care conțin exact 4,30% carbon, eutectice.

Proprietățile mecanice ale fontelor se deosebesc mult de proprietățile mecanice ale oțelului. După rupere, epruvetele de oțel au alungire și gătuire mare a suprafeței secțiunii transversale, în timp ce la fonte alungirea și gătuirea aproape nu există. Cu toate acestea, datorită prețului de cost redus și proprietății de a se turna bine și ușor, fontele au o mare răspândire în construcția de mașini. Se cunosc fonte albe și fonte cenușii.

Dacă aliajele cu conținut ridicat de carbon se răcesc repede ele vor fi formate din perlită și cementită. Fontele la care tot carbonul se găsește sub forma de compus chimic se numesc fonte albe (fig. 114).

Fontele albe au duritatea și fragilitatea mai mare și nu se pot prelucra mecanic. Sunt fragile în special fontele eutectice și hipereutectice. Aceste fonte se întrebuințează mai ales pentru fabricarea oțelului și pentru piese fasonate, denumite piese turnate din fontă maleabilă. În sfârșit, în cazurile când piesele trebuie să aibă o duritate superficială mare (roțile de vagoane, valțurile de laminor), pe suprafață se formează fonta albă, în timp ce masa principală a pieselor e formată din fontă cenușie (piese turnate cu suprafața albită).

O mare importanță pentru industria electrotehnică o are fonta nemagnetică, care se întrebuințează ca înlocuitor al metalelor neferoase. Aceste fonte conțin nichel, mangan, siliciu și câteodată cupru. Fonta cu mangan-nichel-siliciu, conține circa 3,50% carbon, 2,0 ... 2,50% siliciu 8,0 ... 9,00% mangan, 4,0 ... 4,5 nichel. Fonta nemagnetică pe care o întrebuințează pe scară largă industria noastră, conține 3,5 ... 3,90% carbon, 2,4 ... 2,80% siliciu, 8,0 ... 10,00% mangan, 1,5 ... 2,00% cupru, 1,1 ... 0,70% aluminiu.

## 57. Fontele cenușii

Fontele cenușii se caracterizează prin prezența în ele a carbonului, în special sub forma de grafit, care se formează:

- 1) direct după răcirea piesei turnate (fonte cenușii de turnătorie);
- 2) la încălzirea fontelor albe (fonte maleabile) prin descompunerea carburii pe fier (cu formarea carbonului de recoacere).

Fontele de turnătorie se caracterizează prin prezența grafitului, format în urma descompunerii cementitei care se separă la răcirea aliajului solidificat. Totuși în prezent s'a dovedit experimental că grafitul se poate separa direct din soluția lichidă.

Proprietățile mecanice ale fontei depind de cantitatea și de forma grafitului separat, cum și de structura metalică de bază, influențând și duritatea fontei.

Cantitatea de grafit separat depinde de viteza de răcire, de prezența impurităților și de o serie de alte cauze.



În funcție de gradul de descompunere al cementitei, pot avea loc următoarele cazuri (în afară de fontele albe) de obținerea structurii metalice:

- 1) cementita structural liberă s'a descompus numai parțial. Fontele vor conține (în structură) cementită, perlită și grafit;
- 2) cementita liberă s'a descompus complet, dar perlita s'a păstrat. În acest caz se obține structura perlito-grafitică;
- 3) cementita și o parte din cementită care intră în perlită, s'au descompus. Fonta va avea structura: grafit, perlită și ferită;
- 4) toată cementita s'a descompus. Fonta va fi alcătuită din ferită și grafit.

### 58. Influența formei incluziunilor și impurităților de grafit, asupra proprietăților mecanice ale fontei

Scăderea proprietăților mecanice ale fontei în comparație cu cele ale oțelului se explică prin aceea că lamelele de grafit slăbesc baza metalică și distrug integritatea ei. Dimensiunile, forma și numărul incluziunilor de grafit au o importanță foarte mare. În fontă, grafitul poate să se găsească sub formă de (fig. 115):

- 1) lamele drepte sau puțin îndoite;
- 2) lamele îndoite mult;
- 3) incluziuni rotunjite.

Fontele cu incluziuni de grafit mici așezate uniform, au proprietăți mecanice mai ridicate, din care cauză în elaborarea fontei cenușii se tinde să se obțină această formă de grafit.

Dimensiunile incluziunilor de grafit depind de următorii factori:

- 1) condițiile de turnare a fontei (temperatura de supraîncălzire și viteza de răcire);
- 2) compoziția fontei.

Incluziunile de grafit sunt cu atât mai mici cu cât răcirea fonte topite a fost mai rapidă. Totuși nu se poate aplica o viteză de răcire prea mare, deoarece fonta se poate transforma în fontă albă.

Supraîncălzirea fontei (până la temperatura de 1400 ... 1600 °C) precum și durata mare de menținere a ei în stare topită la temperaturi mai joase, favorizează obținerea incluziunilor mai mici de grafit.

Siliciul are o mare influență asupra obținerii fontelor cenușii. În cazul conținutului ridicat de siliciu, se poate obține fontă cenușie, chiar la viteze mari de răcire. Totuși un conținut mare de siliciu favorizează obținerea lamelor mari de grafit și din această cauză conținutul lui în fonte este limitat.

În practică, conținutul de siliciu în fontele cenușii variază dela 1,5% până la 3,5%, în funcție de conținutul de alte impurități și de viteza de răcire.

Manganul favorizează transformarea fontei în fontă albă: Dacă fonta conține sulfură de fier ( $\text{FeS}$ ), manganul scoate sulfurul din fier și-l leagă în sulfură de mangan ( $\text{MnS}$ ), dar odată cu aceasta, manganul dă carburi duble foarte stabile  $\text{Mn}_3\text{CFe}_3\text{C}$ , împiedicând prin aceasta grafitizarea. Deoarece sulfura de mangan ( $\text{MnS}$ ) are greutatea specifică mai mică decât fonta, acest compus se ridică la suprafața ei și micșorează prin aceasta conținutul de sulf din fontă.

Tabela 33

Proprietățile mecanice ale pieselor turnate din fontă cenușie obișnuită și fontă modificată

Calitatea fontei	Rezistența de rupere în kg/mm²	Rezistența de îndoire în kg/mm²	Săgeata de îndoire în mm		Rezistența la contractie, în kg/mm²	Duritatea H <sub>B</sub>
			Pe epru- veta 600, mm	Pe epru- veta 300, mm		
I. Fonta de turnătorie obișnuită (GOST 1412-48)						
C4-00						Nu a fost supusă încercării
C4 12-28	12	28	6	2	50	143-229
C4 15-32	15	32	7	2	60	163-229
C4 18-36	18	36	8	2	67	170-229
C4 21-40	21	40	8	2	75	170-241
C4 24-44	24	44	9	3	83	170-241
C4 28-48	28	48	9	3	90	170-241
C4 32-52	32	52	9	3	100	170-241
II. Fonta modificată (GOST 2611-44)						
C4M 28-48	28	48	9	3	90	170-241
C4M 32-52	32	52	9	3	100	171-241
C4M 35-56	35	56	9	3	110	197-243
C4M 38-60	33	60	9	3	120	196-262

Conținutul de mangan până la 1% are influență pozitivă asupra proprietăților mecanice ale fontelor cenușii, ridicând rezistența de rupere, la îndoire și la șoc (lovire).

Sulful favorizează transformarea fontei în fontă albă. În piesele turnate din fontă cenușie, se admite conținutul de sulf până la 0,1%.

Fosforul este neutru. El nu are nicio influență asupra separării grafitului și se adaugă de obicei pentru a îmbunătăți fluiditatea.

Fontele în care în stare topită s-au introdus cantități mici de adaosuri (modificatori) de fero-siliciu și silico-calciu (compusi chimici ai siliciului cu fier sau calciu) au proprietăți mecanice ridicate. În





Fig. 108. Linii de deplasare la oțel cu 0,08% C.



Fig. 109. Formarea dubletelor în bronz cu aluminiu.



Fig. 114. Microstructura fontelor albe G. A. Cașcenco.



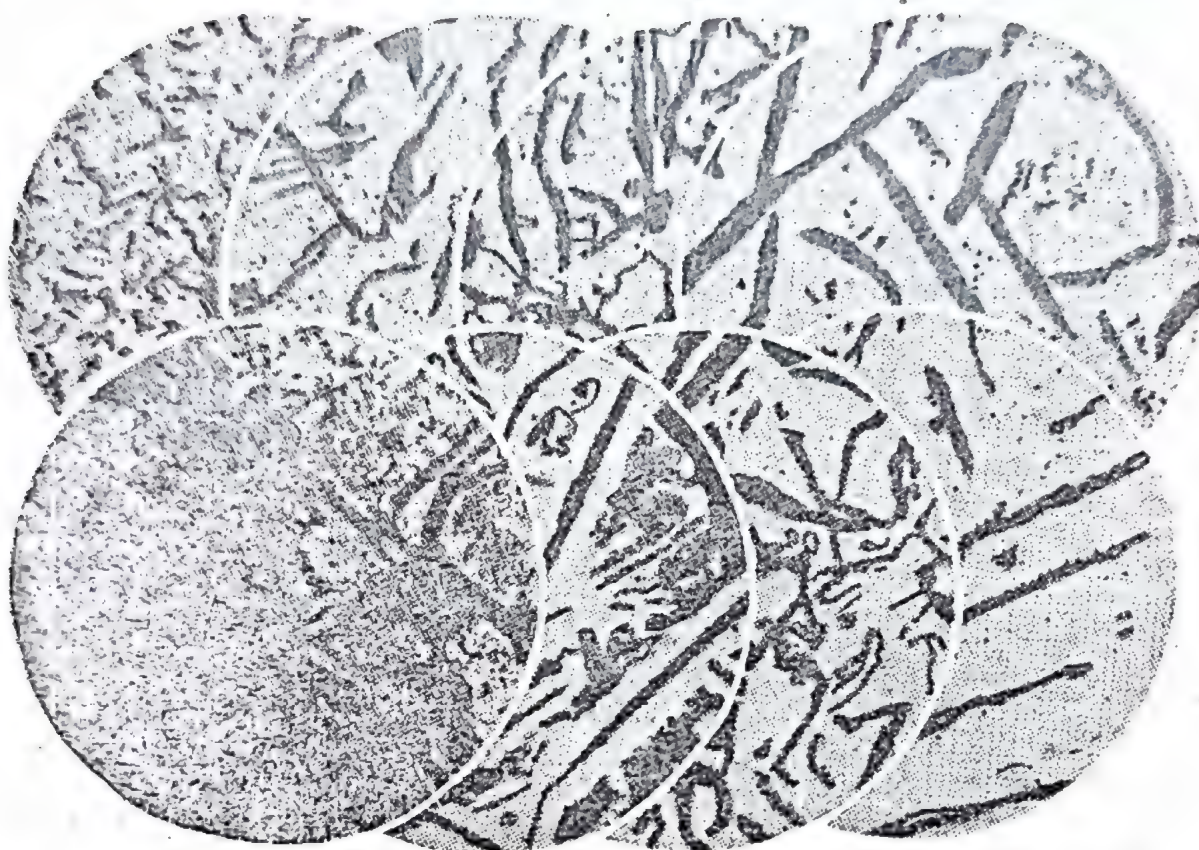


Fig. 115. Incluziuni de grafit, în fontă, diferite ca formă și mărime.  
G. A. Cașcenco.

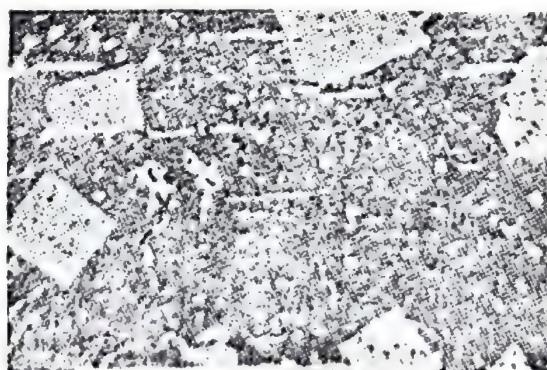


Fig. 124. Structură babilului (BVZ)  
A. P. Guleaev.



urma acțiunii modificărilor se obține fontă cu structură metalică mai mărunță, ceea ce are influență favorabilă asupra proprietăților ei. Fontele modificate, în comparație cu fontele cenușii obișnuite, au o rezistență mai ridicată la uzură în special la presiuni mari, atât la temperatura normală cât și la temperaturi înalte.

În tabela 33, se dau condițiile tehnice pe care trebuie să le îndeplinească piesele turnate din fontă cenușie obișnuită și fontă modificată.

### 59. Tratatamentul termic al fontelor cenușii

Tratatamentul termic al fontelor cenușii are drept scop:

- 1) să elimine tensiunile interne din piesele turnate;
- 2) să scadă duritatea și prin aceasta să îmbunătățească prelucrarea pe mașini unelte;
- 3) să sporească proprietățile mecanice;
- 4) să dea suprafeței proprietăți speciale (cementare și nitrurare).

La turnarea fontei în piese, datorită răcirii deosebite a miezului și suprafeței, se nasc tensiuni mari care pot provoca crăpături și favorizează îndoirea și distrugerea pieselor în timpul lucrului. Aceste tensiuni se elimină ușor prin revenire la temperatura de 425...550 °C. Temperatura de revenire pentru piese mici și cu forma simplă, poate fi scăzută până la 350 °C. Durata menținerii la temperatura de revenire, variază în funcție de forma și de dimensiunile pieselor turnate, dela 30 minute până la 6 ore. Răcirea după revenire, se face odată cu cuptorul. La încălzirea pentru revenire nu au loc schimbări de structură și fonta pierde puțin din duritatea ei.

Mai înainte piesele turnate se țineau timp de câteva luni la temperatura obișnuită. De sigur nu se poate recomanda această metodă de eliminare a tensiunilor interne, deoarece ea duce la o frânare a producției de piese gata.

Recoacerea de înmuiere se face la temperatura de 700...850 °C, timp de câteva ore. De exemplu ramele preselor și a mașinilor unelte, se supun recoacerii la temperatura de 750 °C, pistoanele la temperatura de 780...800 °C, piesele mașinilor de scris și de tors la temperatura de 800...850 °C, bucșele de mărime potrivită, inelele de piston la temperatura de 700...900 °C, tuburile pentru turnare centrifugală la temperatura de 850...1000 °C. Duritatea fontei cu bază de perlită scade în special în timpul încălzirii până la temperatura de 750 °C. Această scădere a durității este provocată de formarea în locul perlitului, a feritei și grafitului.

La fabricarea pieselor turnate din fontă cenușie, apar de multe ori la colțuri, margini și proeminente, un strat de fontă albă, superficial, cu o adâncime diferită. Acest strat se caracterizează prin pre-

zența cementitei, perlitei sorbitice și chiar a martensitei. El se prelucurează greu.

Pentru îndepărtarea stratului de fontă albă apărut la proeminențe, se face recoacerea la temperatura de  $940\cdots 980^{\circ}\text{C}$ , timp de  $3\cdots 6$  ore, urmată de răcire înceată. Durata de menținere la temperatura de recoacere, depinde de compoziția chimică a fontei. Cu cât numărul de elemente care favorizează formarea grafitului este mai mare, cu atât descompunerea cementitei se face mai repede.

Pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice, precum și pentru ridicarea rezistenței pieselor la uzură și la frecare, se aplică călirea fontei la temperatura de  $850\cdots 900^{\circ}\text{C}$ , urmată de revenire la temperatura de  $300\cdots 400^{\circ}\text{C}$  sau de normalizare.

Prezența incluziunilor de grafit în fontă, favorizează formarea crăpăturilor și din această cauză încălzirea fontei trebuie făcută încet și cu precauție. Câteodată, în timpul tratamentului termic al pieselor turnate, se aplică încălzirea în prealabil până la temperatura de  $200\cdots 300^{\circ}\text{C}$ . Se recomandă ca piesele de formă complicată să se introducă în cuptorul rece, și după aceea să se facă încălzirea împreună cu cuptorul.

În timpul călirii în ulei, la temperatura de  $180^{\circ}\text{C}$  proprietățile mecanice ale fontelor ferito-perlitice cresc mult datorită creșterii cantității de perlită, care în acest caz are structura formată din lamele mici.

Din punct de vedere al proprietăților mecanice, aceste fonte sunt inferioare celor cu perlită. În timpul călirii fontei perlitice în ulei, la temperatura de  $180^{\circ}\text{C}$ , toate proprietățile mecanice cresc, în timp ce în timpul călirii în apă și în ulei la temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ , proprietățile mecanice scad.

Proprietatea de călire a fontei depinde de cantitatea de perlită, de temperatura de încălzire și de mediul de răcire. Fontele aliate cu crom, molibden, nichel și mangan, se pot căli în aer.

Fonta călită se supune revenirii. Odată cu ridicarea temperaturii de revenire până la  $350\cdots 400^{\circ}\text{C}$ , crește rezistența de rupere, ceea ce se explică prin micșorarea tensiunilor în piesele turnate. Ridicând temperatura de revenire până la  $500\cdots 550^{\circ}\text{C}$ , rezistența de rupere scade din nou până la valoarea inițială. Duritatea și rezistența la uzură cresc în urma călirii și revenirii.

Piesele din construcția de avioane, — supapele, bușele, segmentii de piston, — se călesc la temperatura de  $840^{\circ}\text{C}$  și se supun revenirii la temperatura de  $550\cdots 600^{\circ}\text{C}$ .

Deoarece încălzirea legată de tratamentul termic provoacă schimbarea dimensiunilor, prelucrarea pieselor pe mașini unelte, pentru finisare, trebuie să se execute după tratamentul termic.

Pentru ridicarea rezistenței la uzură, unele piese de fontă — cilindrii automobilelor, tractoarelor, pompelor, compresoarelor, etc., — se supun nitrurării. Nitrurarea se face la temperatura de  $500\cdots 600^{\circ}\text{C}$ , în curent



de amoniac, timp de 20...90 ore. Pentru nitrurare se întrebuintează fonte speciale conținând crom și aluminiu, cu conținut mic de carbon (2,0...2,6%).

Piese mari de mașini unelte, turnate, au în unele cazuri duritatea scăzută; aceasta se explică prin conținutul ridicat de siliciu în fontă, prin turnarea fontei în formă uscată și prin răcirea înceată. Duritatea se poate mări prin călirea pieselor turnate. Totuși nu se poate face întotdeauna călirea completă a pieselor de dimensiuni mari, turnate din fontă, deoarece aceasta necesită rezervoare mari de călire iar pe de altă parte poate duce la îndoire și la formarea crăpăturilor. În acest caz, trebuie executată călirea superficială. În acest scop piesele turnate se încălzesc până la temperatura de 830...900 °C, se țin timp de 1...3 ore și se scot la aer. Suprafețele de lucru ale acestora, se stropesc cu apă (duș). În urma acestei căliri, perlita în formă de lamele mari din stratul superficial și o parte din ferită, trec în perlită în formă de lamele mici și în perlită sorbitică, transformare care este însoțită de ridicarea durității. Această metodă de tratament a fost aplicată în uzina metalurgică din Dnepropetrovsk batiurilor de fontă, care nu aveau duritatea suficientă (105 Brinell).

Tratamentul se făcea în următoarele condiții: încălzire până la temperatura de 850 °C timp de 12 ore, menținere timp de 6 ore și încălzire până la temperatura de 950 °C timp de două ore. După ce se ținea la temperatura aceasta timp de două ore, batiul se răcea până la temperatura de 400...500 °C într'un curent de apă în toată lungimea, iar pentru răcirea înceată și eliminarea tensiunilor, se introducea după aceea în cuptor. În urma tratamentului termic, duritatea batiului la suprafață, era de 178 unități Brinell iar la adâncime de 200 mm, de 146 unități Brinell.

## 60. Fontele maleabile

Fontele maleabile, asemenea fontelor cenușii de turnătorie, conțin carbon sub formă de grafit. Totuși ele se deosebesc de fontele cenușii, prin procedeul de obținere, prin compoziție, prin forma grafitului și prin proprietăți mecanice mai ridicate.

Fontele maleabile se obțin prin recoacerea îndelungată a fontei albe, în care carbonul nu se găsește liber, ci în cementită. În timpul încălzirii îndelungate, cementita se descompune, iar grafitul separat ia forma rotundă. Dacă recoacerea pieselor turnate din fontă albă se face în vederea obținerii structurii formate din perlită și carbon de recoacere, în această stare fonta rezistă bine la frecare și din această cauză înlocuște în unele cazuri bronzul (lagăre).

Recoacerea îndelungată a fontei se poate face pentru obținerea structurii formate din ferită plus carbon de recoacere. Fonta maleabilă cu ferită are plasticitatea mai mare decât fonta cu perlită.

În tabela 34 se dau proprietățile mecanice ale fontei feritice și ale fontei perlitice.

Datorită formei rotunde a carbonului de recoacere în fonta maleabilă, masa metalică de bază este mai puțin dispersată și din această cauză fonta are plasticitatea și rezistența mai mari. Cu cât incluziunile de carbon sunt mai mari, cu atât fontele maleabile au rezistență mai mică.

Tabela 34

Proprietățile mecanice ale fontei feritice și perlitice

Felul fontei	Calitatea fontei după GOST 1215-41	Proprietățile mecanice		
		Rezistența de rupere în kg/mm <sup>2</sup> , min.	Alungirea pe epruveta de 16 mm, în % min.	Duritatea H <sub>B</sub> max.
Feritică . . . . .	37—12	37	12	149
	35—10	35	10	149
	33—8	33	8	149
	30—6	30	8	163
Perlitică . . . . .	40—3	40	3—4	201
	45—4	35	4—5	201
	30—3	30	3—4	201

Fontele maleabile pot fi obținute prin încălzire îndelungată fără oxidare, cum și prin încălzire însoțită de oxidarea carbonului dela suprafață. În ultimul caz, încălzirea se face în tunder (oxid de fier) sau în minereu. Fonta albă inițială conține o cantitate ridicată de carbon și o cantitate mică de siliciu, având următoarea compoziție chimică: max. 3,3% C; 0,6—1,1% Si; max. 0,4% Mn; max. 0,22% P și max. 0,20% S. O parte din carbonul din fontă difuzează spre suprafață și se oxidează. Conținutul scăzut de siliciu este explicat de faptul că grafitizarea are loc mai repede la un conținut ridicat de carbon și din această cauză nu este nevoie de o cantitate suplimentară de siliciu. Grafitizarea este favorizată atât de durata de menținere mai îndelungată cât și de temperaturi mai înalte, care de obicei se aplică în cazul obținerii fontei maleabile prin încălzire însoțită de oxidare la suprafață. Această fontă are în straturile superficiale structura feritică, în miez structura ferito-perlitică, iar ruptura miezului de culoare cenușie.

În cazul când fonta maleabilă se obține fără oxidare, fonta albă inițială trebuie să conțină mai puțin carbon și mai mult siliciu.

Piesele turnate din fontă albă se așează în cutii și se acoperă cu nisip. Ulterior ele se încălzesc încet, aproximativ până la temperatura de 900 °C, se țin la această temperatură timp de câteva zeci de ore și apoi se răcesc foarte încet (circa 5 °/h). Răcirea trebuie să



fie înceată în special la trecerea punctului  $Ar_1$ . În cazul acestui proces au loc fenomenele descrise mai jos.

La început, la temperatura de circa  $900^\circ\text{C}$  se descompune cea mai mare parte a cementitei, cu separare de grafit sub formă de carbon de recoacere. La răcire, din soluția solidă se separă cementita, care ulterior se descompune în carbon de recoacere și ferită. Dacă răcirea nu se face suficient de încet, o parte din cementită rămâne nedescompusă și se va obține nu numai ferită, dar și perlită și chiar cementită.

Fontele maleabile se întrebuintează ca material mai potrivit și mai ieftin pentru piese mici de formă complicată, care nu trebuie să îndeplinească condiții speciale în ceea ce privește rezistența. Întrebuintarea pentru aceste piese a fontei cenușii de turnătorie sau a oțelului nu este rațională deoarece prima nu garantează rezistența, iar oțelul se toarnă greu.

### 61. Recoacerea rapidă a fontei maleabile

În prezent găsește aplicare metoda rapidă de obținerea fontei maleabile. Accelerarea operației se realizează prin întrebuintarea pentru încălzire, a cuptoarelor cu atmosferă neutră (fără oxidanți), prin ridicarea temperaturii de încălzire și prin executarea călirii inițiale dând fontei adausuri speciale.

Încălzirea fontei în cuptor cu atmosferă neutră permite ca recoacerea să se facă fără nisip, astfel de oxidare. Aceasta dă posibilitate să se facă o încălzire rapidă. Ridicarea temperaturii de recoacere până la  $1000 \dots 1050^\circ\text{C}$ , duce la descompunerea rapidă a cementitei în timp de câteva ore, pe când la recoacerea în cuptoare mari la temperatură de  $900^\circ\text{C}$ , sunt necesare pentru aceasta  $80 \dots 150$  ore.

Lipsa materialelor de acoperire permite executarea răcirii mai rapide. În fig. 116 se dă curba de recoacere a fontei maleabile într'un cuptor electric, unde atmosfera oxidantă este neînsemnată.

Dreapta  $AB$  corespunde duratei operației la temperatura maximă, în urma căreia cementita se descompune complet (prima etapă de grafitizare), iar structura prezintă grafit și austenită (soluție solidă). Câteodată durata procesului este mică și din această cauză cementita

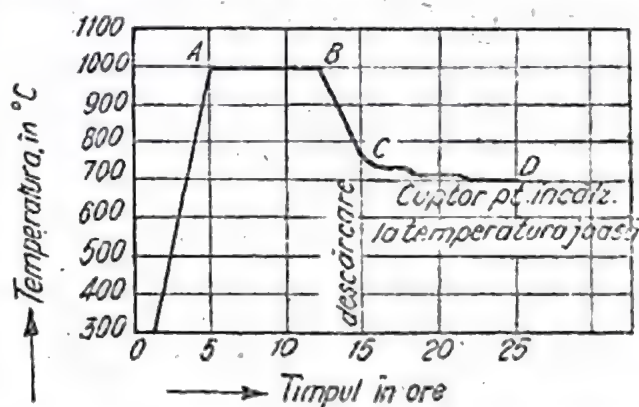


Fig. 116. Curba recoacerii fontei maleabile în cuptoare electrice.

nu se descompune complet (se formează numai centre de grafitizare). Dacă prima menținere (dreapta  $AB$ ) a fost mică, viteza de răcire trebuie să fie neînsemnată pentru a asigura descompunerea cementitei.

Menținerea lângă punctul  $A_1$  se face în scopul descompunerii perlitei și formării carbonului de recoacere și feritei (a doua etapă de grafitizare, dreapta  $CD$ ). Această menținere se face sau la temperatura punctului  $A_1$  sau ceva mai jos. A doua etapă de grafitizare se poate realiza prin răcire înceată trecând prin punctul critic. În ultimul caz, se obțin rezultate mai bune în ceea ce privește viteza de grafitizare.

Dacă fontele se grafitizează ușor (de exemplu fontele cu conținut mare de siliciu), procesul grafitizării poate fi executat mai repede.

Recoacerea fontei maleabile se poate accelera și prin călirea inițială a pieselor turnate din fontă albă. Călirea fontei favorizează creșterea numărului de centre, lângă care, în urma recoacerii, se va separa grafitul. Călirea inițială accelerează procesul de câteva ori și înafară de aceasta, favorizând micșorarea granulelor de grafit, mărește proprietățile mecanice ale fontei.

Călirea în ulei accelerează procesul recoacerii de 3...4 ori, iar răcirea la aer de  $1\frac{1}{2}$ ...2 ori. În cazul pieselor turnate cu pereți subțiri răcirea la aer dă aceleași rezultate ca și călirea în ulei. Acest procedeu a fost elaborat de A. D. Assonov, V. N. Preadilov și alții. El se aplică în multe uzine pentru piesele turnate, mici, de formă simplă. Piesele turnate se încălzesc la temperatura de 950...970 °C, timp de 20...40 minute și se călesc în ulei sau în apă. Răcirea definitivă a cutiilor se face la aer. (Regimul recoacerii se dă în fig. 116, sub forma unei curbe). În urma acestui tratament se obține fonta feritică.

Pentru obținerea fontei perlitice, cu rezistența ridicată, durata de menținere la temperatura de 720...700 °C se scurtează, ceea ce accelerează și mai mult procesul.

Trebuie amintite lucrările Institutului Industrial din Urali, care arată că adăugarea cuprului în fontă, în cantitate de 0,8%, accelerează prima etapă a grafitizării cu 50% și a doua etapă, cu 40%. Cu creșterea conținutului de cupru până la 1,7% a doua etapă se scurtează cu 65%. În fonte cu adăugare de cupru, rezistența de rupere poate fi de 40...45 kg/mm<sup>2</sup>, alungirea de 10...11%.

Pentru a micșora acțiunea nefavorabilă a sulfului, cantitatea de mangan trebuie să întrecă de trei ori pe cea a sulfului.



## COROZIUNEA METALELOR ȘI LUPTA ÎMPOTRIVA EI

### 62. Aspectele coroziunii și factorii care o influențează

Distrugerea superficială a metalelor în urma proceselor chimice sau electrochimice, se numește coroziune.

Coroziunea constituie o mare pagubă întrucât se cheltuesc sume enorme pentru protejarea metalelor și se depune o muncă uriașă din cauza ruginirii dărilor piese.

Înainte de începerea descrierii metalelor de protecție împotriva coroziunii, este necesar să se expună pe scurt cauzele care o provoacă.

Coroziunea poate fi de natură chimică sau electrochimică. Toate felurile de coroziuni pot fi clasate în una din aceste două categorii.

Proprietatea metalului de a se coroda depinde de afinitatea dintre acel metal și oxigen, și se determină prin cantitatea de căldură dezvoltată la formarea oxizilor. Cu cât această căldură este mai mare, cu atât se combină mai ușor metalul cu oxigenul.

Asupra metalelor acționează oxigenul, bioxidul de carbon și bioxidul de sulf, gaze care provoacă formarea combinațiilor chimice la suprafața metalelor.

Creșterea temperaturii în mediul ambiant mărește viteza de formare a acestor combinații, adică mărește viteza coroziunii. Dat fiind că o mare parte din piese lucrează la temperaturi înalte, importanța practică a acestei probleme este foarte mare. Deosebirea dintre coroziunea produsă la temperaturi înalte și coroziunea care ia naștere în condiții normale, constă în faptul că la temperaturi înalte viteza de difuzare a gazelor prin stratul superficial crește, și datorită acestui fapt se formează în scurt timp un strat gros de oxid de fier (țunder).

Viteza gazelor nu influențează aproape deloc coroziunea atât timp cât această viteză nu distruge stratul superficial printr-o acționare mecanică.

Coroziunea crește proporțional cu durata acționării gazelor și cu ridicarea temperaturii acestora; ea crește în mod special odată cu schimbarea mediului înconjurător.

În prezent, cea mai adoptată teorie care explică procesul coroziunii este teoria electrochimică. La dezvoltarea acestei teorii au contribuit în mare măsură savanții sovietici G. A. Achimov, M. A. Izgarșev, A. I. Șultin și alții.

Această teorie se bazează pe fenomenele care au loc într'un element galvanic, adică pe proprietatea pe care o au metalele ca în contact cu lichidele să pună în libertate ioni încărcăți pozitiv.



Electronii atomilor rămân pe metalul nedisolvat și-l încarcă cu electricitate negativă. Cantitatea ionilor, puși în libertate în electrolit, variază de la un metal la altul. Metalele nobile eliberează cantități minime de ioni. Proprietatea metalelor de a elibera ioni pozitivi și de a se descompune la formarea cuplurilor galvanice, constituie cauza coroziunii electrochimice.

Forța electromotrice, care caracterizează proprietatea ionilor de a trece în soluție se numește potențial normal. Asupra mărimii potențialului influențează natura electrolitului, precum și durata contactului acestuia cu metalul. Schimbarea potențialului după un timp oarecare se explică prin apariția sau dispariția peliculei de pe suprafața metalului.

Dacă se iau diferite metale și se unesc unele cu altele fie direct, fie cu ajutorul unei sârme și se cufundă într-o soluție, fiecare metal va avea potențialul său determinat. Când două metale legate între ele sunt cufundate într-o soluție, se formează cupluri galvanice; în acest caz metalul cu potențialul negativ se descompune, în timp ce al doilea metal rămâne intact.

Neomogenitatea structurii care contribuie la nașterea unui număr mare de cupluri galvanice grăbește coroziunea.

Astfel, așa numita microcoroziune este provocată de structura neomogenă a aliajelor. Ca exemplu de microcoroziune se poate cita atacarea feritei în prezența cementitei.

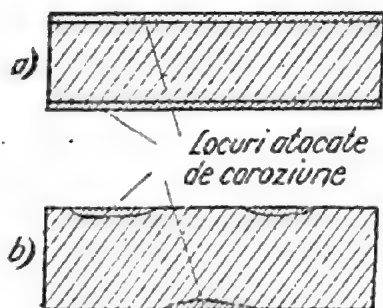


Fig. 117. Aspecte de coroziune:  
a) generală, b) locală.

Deși coroziunea chimică este însoțită de obicei de o acționare a cuplurilor galvanice, totuși în unele cazuri descompunerea are loc în urma reacțiilor chimice. Ne poate servi ca exemplu oxidarea metalelor în gazele de furnal, în aerul uscat, etc.

Coroziunea de pe suprafața metalelor poate să apară sub diferite forme:

1. Sub forma de descompunere totală pe corpul și marginile granulelor, putând fi însă localizată, adică apărând într'un singur loc (fig. 117 a);

2. Sub formă liniară sau sub formă de puncte (fig. 117 b);

3. Sub formă de coroziune intercrystalină (fig. 118). Acest fel de coroziune poate fi observat la oțelurile inoxidabile (de tip E. J. 1) după o încălzire până la 500...900 °C, la aliajele ușoare din aluminiu, la alamă ecruisată ținută la aer, cum și în cazul acționării soluțiilor alcaline asupra oțelului, și a apei de mare asupra alamei. Coroziunea intercrystalină pătrunde de obicei în interiorul metalului pe marginile granulelor. În cazul unei asemenea coroziuni me-



talul își păstrează aspectul exterior normal în timp ce proprietățile lui mecanice pot fi reduse foarte mult.

Cauzele care dau naștere acestui fel de coroziune nu' au fost stabilite. Se crede că aceasta se produce din cauză prezentei pe marginile granulelor a diferitelor incluziuni de sgură de altă natură decât metalul de bază, ceea ce în anumite condiții înlesnește producerea cuplurilor galvanice și a măcinărilor pronunțate.

Tensiunile interne și deformarea metalului micșorează rezistența lui la coroziune. În acest caz se produce un fel foarte periculos de coroziune (coroziunea intercristalină). Suprafața piesei are o influență hotărâtoare asupra vitezei de coroziune. Cu cât această suprafață este mai curată, cu atât este mai rezistentă la coroziune.

Influența prelucrării mecanice, care poate fi considerată ca o anumită stare de deformare, se manifestă în mod diferit la metale și depinde de anumite condiții exterioare.

Prelucrarea mecanică fină (de exemplu polisarea) contribuie la mărirea rezistenței chimice a oțelurilor.

În unele cazuri, existența unui strat de oxid la suprafața metalului contribuie la o rezistență mai mare a acestuia împotriva coroziunii. De exemplu, aluminiul se acoperă foarte repede cu un asemenea strat, care îl protejează contra adâncirii coroziunii.

Proprietatea stratului de oxid de a proteja metalul contra coroziunii, depinde îndeosebi de starea lui fizică.

Pentru o bună protecție împotriva atacării, stratul de oxid trebuie să se întindă uniform pe toată suprafața piesei.

Dacă stratul are o grosime prea mare, în el se pot produce crăpături, ceea ce reduce mult puterea lui de protecție. Asupra acestei proprietăți de protecție are o puternică influență starea inițială a suprafeței metalului. Rezistența la coroziune a suprafeței polizate se explică întrucâtva prin faptul că se formează un strat de protecție pe întreaga suprafață.

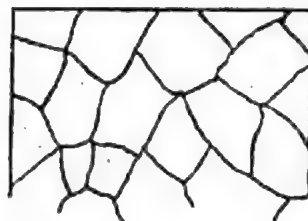


Fig. 118. Coroziunea intercristalină.

Prelucrarea chimică a suprafețelor metalelor mărește uneori rezistența lor la coroziune, iar alteori o diminuează. În primul caz se formează straturi de protecție (de exemplu pasivizare, oxidare), în al doilea caz straturile formate anterior sunt atacate (activarea suprafeței).

De exemplu, îndepărtarea țunderului, provenit la tratamentul termic, creează condiții favorabile corodării. Numărul contactelor la suprafață crește sub influența acțiunii acizilor, deoarece se produce o disolvare a componentilor ceea ce dă naștere la o creștere a microcuplurilor.

Compoziția chimică a aliajelor și structura lor influențează mult coroziunea. Metalele pure cu o structură omogenă sunt mai puțin amenințate de coroziune decât aliajele.

Incluziunile de sgură sau de altă natură măresc coroziunea.

Adausurile care formează cu metalul de bază soluții solide, măresc rezistența metalului la coroziune. Aceasta se observă mai ales când adausurile au proprietatea de a forma straturi de protecție.

Din acest punct de vedere cele mai bune rezultate se obțin cu adausuri de crom sau de nichel.

Structura neomogenă provoacă un mare număr de micropori și formează straturi cu diferite proprietăți, ceea ce duce la ruperea lor în locurile mai puțin rezistente.

### 63. Metodele de protejarea metalelor împotriva coroziunii

Metalele pot fi protejate împotriva coroziunii prin următoarele metode: prin acoperire, prin procedeul electrochimic și prin prelucrarea mediului coroziv.

*Protejarea prin acoperire.* Acoperirea metalelor poate fi obținută pe cale chimică, electrochimică și prin difuziune mecanică.

Procedeul chimic de acoperire poate fi realizat cu sau fără curent electric. El constă în formarea pe suprafața metalului a unui strat de oxid care protejează restul metalului de coroziune. Exemple de metode de acoperire sunt: oxidarea, pasivizarea și fosfatarea.

Din această metodă de acoperire face parte și brunarea, care constă în formarea peliculei de oxid prin încălzire.

Procedeul electrolitic de acoperire constă în depunerea pe suprafața metalului a unui strat rezistent la coroziune. Din această metodă fac parte operațiunile de cromare, de zincare, de arămire etc.

Acoperirea metalelor pe cale mecanică poate fie efectuată la cald sau la rece.

Exemple de acoperire la cald se pot cita: metalizarea, cositorirea și zincarea. Procedeul constă în topirea metalului de protecție și în acoperirea suprafeței metalului de protejat cu un strat subțire și uniform. Acoperirea metalelor cu vopsele, cu lacuri, cu rășini, cu emailuri, etc., face parte din procedeul de acoperire la rece. Acest procedeu se aplică metalelor pentru a le proteja contra coroziunii provocate de apa de mare, de aerul umed și de gazele atmosferice. În fiecare din aceste cazuri este necesar să se stabilească în prealabil care din acoperiri este mai potrivită condițiilor impuse. Acoperirile trebuie să fie inerte față de metal, adică ele nu trebuie să provoace la rândul lor coroziunea.

Prezența porilor și a porțiunilor descoperite în stratul de protecție (obținut prin vopsire, lăcuire, emailare, etc.) intensifică de cele mai multe ori efectul coroziunii.

Vopselele de ulei se fabrică cu: oxid de zinc, grafit, miniu de plumb și de fier, etc. Pentru a grăbi uscarea vopselelor se adaugă în compoziția lor săruri de mangan sau de plumb.



La acoperiri prin difuziune, metalul de protecție pătrunde la o temperatură înaltă în metalul de protejat, formând la suprafața acestuia din urmă un strat rezistent la coroziune. O asemenea acoperire este de exemplu alitarea și saturarea superficială a produsului cu alte metale.

Acoperirea prin difuziune mecanică are loc la prepararea bimetalelor.

Datorită contactului strâns între două metale și datorită presiunilor mari, obținute la temperaturi înalte, se produce pătrunderea reciprocă între metale, ceea ce asigură o etanșeitate durabilă între straturi.

Acoperirea cu metale se utilizează foarte mult în industrie, de exemplu: cositorirea, alămirea, cromarea, etc.

**Pasivizarea.** Dacă metalul nu se corodează, se zice că el este pasiv în mediul respectiv. Pasivitatea metalelor poate fi provocată în mod artificial prin tratarea prealabilă a suprafeței lor cu acizi.

Sub acțiunea unui astfel de tratament se formează pe suprafața metalului o peliculă de oxid sau de sare (a metalului), care protejează metalul de corodare. Pasivizarea pieselor de oțel se face cu ajutorul acidului azotic; în ultimul timp s'a constatat că acidul cromic dă rezultate mai bune. În cazul pasivizării cu acid azotic, piesele se cufundă în acid timp de 30 secunde, apoi se spală într-o soluție de 10% sodă și în petrol. În cazul pasivizării cu acid cromic, piesele, după ce se șlefuesc în prealabil, se cufundă timp de 25...30 de minute într-o soluție de acid cromic de 30% concentrație, încălzită la 50...60 °C, după aceea piesele se spală în două băi de apă rece și apoi se cufundă pentru 3 minute într-o soluție fierbinte de 3...5% hidrat de sodiu. Eliminarea hidratului se obține prin spălarea pieselor în apă rece și apoi în apă caldă.

După uscare piesele se gresează la o temperatură de 120...130 °C.

Acidul cromic este foarte vătămător. El atacă pielea și îmbrăcămintea, deaceia se cere o mare atenție în timpul lucrărilor.

**Oxidarea.** Această operațiune este asemănătoare celei de pasivizare și constă în formarea la suprafața pieselor metalice a unui strat de oxid prin tratarea suprafețelor cu diferiți reactivi.

Oxidarea poate fi acidă sau alcalină. În cazul oxidării acide se utilizează acidul azotic și acidul clorhidric iar la oxidări alcaline se lucrează cu hidrați alcalini și cu materii oxidante. Cea mai răspândită oxidare este cea alcalină. Se ține însă cont de faptul că piesele de aluminiu, cum și lipiturile făcute cu cositor, sunt atacate de soluțiile alcaline.

Baia alcalină se prepară astfel: la fiecare litru de apă se pun în baie 550 g hidrat de sodiu, 200 g azotat acid de sodiu și 2 g sare de bucătărie. Oxidarea se face la temperatura de 135...150 °C, timp de 2½ ore. Piesele se curăță în prealabil de țunder, de rugină și de pete de grăsime. După oxidare, piesele se gresează în mod obligatoriu.





**Fosfatarea.** Metoda de protejarea oțelului contra ruginii cu ajutorul fosfatării a fost elaborată de curând. Totuși ea este foarte mult utilizată în industrie, datorită simplității și ieftinătății ei.

Înainte de fosfatare, piesele trebuie să fie pregătite în mod corespunzător, întrucât neglijarea unei pregătiri temeinice duce la formarea petelor. Suprafața pieselor trebuie să fie bine curățită de rugină și de pete de grăsime. Curățirea poate fi făcută pe cale chimică sau mecanică.

În cazul curățirii pe cale chimică, piesele se degresează în soluții alcaline, iar pentru îndepărtarea oxizilor se cufundă în soluție de acid sulfuric, clorhidric sau de acid fosforic.

Curățirea chimică a suprafețelor prezintă un mare dezavantaj prin faptul că piesele fosfatate diferă între ele atât ca aspect exterior, cât și ca rezistență la coroziune.

Neajunsurile arătate mai sus pot fi evitate ușor prin utilizarea curățirii pieselor pe cale mecanică. În acest scop suprafețele pieselor se curăță cu ajutorul aparatului pentru curățire prin suflarea cu nisip fin de cuarț cu o presiune de 3...4 at. După suflarea cu nisip, piesele capătă o suprafață mată care se fosfatează foarte bine.

Este bine ca la curățirea pieselor să se utilizeze metoda combinată. Pentru fosfatare se utilizează săruri speciale.

Fosfatarea decurge în felul următor: se prepară o baie, care la fiecare litru de apă conține 27...30 g de substanțe fosfatante. Se fierbe baia 5...10 minute, apoi se lasă să se depună toate produsele hidrolizei, după care începe operațiunea de fosfatare la o temperatură a băii de 96...98 °C.

Piesele introduse într'un coș sau pe vergele se cufundă în baie. La început se formează fosfați cu degajare de hidrogen, care continuă până când oțelul vine în contact cu soluția.

Datorită acțiunii acidului fosforic asupra suprafețelor pieselor, se formează o peliculă rezistentă de fosfat, de culoare cenușie-închisă.

Acțiunea acidului încetează imediat ce la suprafața pieselor apare această peliculă. Cu toate că pelicula de fosfat se formează după 40...45 min piesele se mențin în baie timp de 60...90 min.

Într'un asemenea regim de lucru grosimea peliculei de fosfat ajunge la 0,005...0,007 mm.

După fosfatare, piesele se spală și se acoperă cu un lac special, care se aplică pe suprafețele fosfatate cu multă ușurință și rămâne bine aderat.

Pentru a grăbi fosfatarea se recomandă adăugirea sărurilor de cupru, ceea ce permite reducerea timpului de lucru până la 10...12 min.

Oțelurile aliate și în special cele care conțin un procent mare de crom și de nichel se fosfatează foarte rău. Piesele din fontă pot fi fosfatate, însă se recomandă ca în prealabil să fie decapate cu acid fluorhidric.



Trebue menționat că fosfatarea nu protejează bine piesele care vin în contact cu apa.

Película de fosfat se dizolvă cu ușurință în acizi organici și minerali. Gazele  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NO}_2$  și altele care se formează și emană din lichidul acidului, au o acțiune distructivă asupra peliculei de fosfat.

**Brunarea.** Principiul brunării constă în încălzirea pieselor la  $400 \dots 500^\circ\text{C}$ , care duce la obținerea pe suprafața lor a unei pelicule subțiri de oxid de fier. Această peliculă protejează relativ bine piesele contra coroziunii.

Înainte de brunare, piesele se șlefuesc, se încarcă în cutii împreună cu o cantitate de cărbuni și se încălzesc până la  $450 \dots 500^\circ\text{C}$ , timp de 5...6 min, până ce apare o peliculă uniformă de culoare închisă de oxid. Cărbunele are rolul de a proteja metalul contra unei oxidări prea mari. După prima încălzire, piesele se ung cu țiței sau cu păcură și se încălzesc din nou în același cărbune timp de 10...15 min, după care se udă cu apă.

Neajunsul acestui procedeu de protecție contra coroziunii constă în faptul că piesele trebuie încălzite. Deaceia ele își pierd rezistența la frecare și nu pot lucra decât la o temperatură maxim de  $400 \dots 500^\circ\text{C}$ .

**Protejarea metalelor.** Pornind dela importanța potențialelor, se pot alege așa numiții protectori care se introduc în sistemul dat, fără a-l îngreua. Aceasta se face pentru a proteja metalele de bază de corodare. Desigur pentru fiecare sistem trebuie ales protectorul în așa fel, încât corodarea lui să nu se producă prea repede. Totodată trebuie să se prevadă că diferența prea mare între potențiale produce o corodare mai rapidă. De exemplu, pentru cupluri cupru-duraluminu, cupru-oțel, se utilizează ca protector zincul. La alegerea protectorului se ține seama de mediul în care vor lucra metalele; de obicei determinarea potențialului și în consecință alegerea protectorului se face pe bază de experiență.

Încă în anul 1825 s'a propus protejarea tablelor de alamă și de aramă contra acțiunii apei de mare, prin fixarea pe ele a zincului (ca protector). În urma acestei combinări de metale, zincul se distruge treptat, iar piesele de alamă sau de aramă rămân nevătămate. Toate acoperirile cu metale pot fi clasate, după caracterul protecției, în acoperiri anodice și catodice. Cele anodice protejează metalul nu numai datorită izolării acestuia de mediul înconjurător, dar și prin aceea că în cuplul format stratul de acoperire devine anodic și deci sub acțiunea electrolitului și a curentului electric se deteriorează, protejând astfel de distrugere suprafața metalului.

În cazul protejării metalelor, coroziunea trece asupra metalului protector, care încetul cu încetul se distruge. El poate fi înlocuit din nou. Această protejare se utilizează în cazul pieselor care lucrează în apă de mare sau la cilindrii mașinilor cu ardere internă, etc.

În cazul acoperirilor anodice pe toată suprafața, porii și crăpăturile nu sunt periculoase, întrucât porțiunile vecine ale protectorului vor apăra metalul de distrugere. Ca exemplu de o astfel de protecție poate servi cea a oțelului moale protejat cu zinc. Dacă pe suprafața oțelului zincat se face o sgârietură, oțelul nu va rugini.

Acoperirile catodice protejează metalul numai cu condiția păstrării peliculei pe toată suprafața.

Descoperirea metalului poate duce la o coroziune rapidă întrucât în acest caz metalul protector va avea rolul catodului și deci va ajuta coroziunii. De exemplu, nichelul, cuprul și cositorul vor forma cupluri galvanice în care fierul este anodul. Dintre acoperirile catodice ale oțelului, cromarea este aceea care se utilizează în cea mai mare măsură. Stratul de crom protejează foarte bine contra coroziunii, în cazul când acoperirea este uniformă pe toată suprafața. Prezența crăpăturilor sau a porilor cât de mici scade considerabil rezistența la coroziune a pieselor cromate. S'a observat că acoperirile electrolitice (cromarea, nichelarea, etc.) reduc rezistența metalelor la încercarea lor în aer, prin încercări cu sens variabil (rezistența la oboseală).

După unele date această coborîre ajunge până la 30%, ceea ce se explică prin formarea crăpăturilor în straturile de protecție, crăpături care contribuie la distrugerea metalului de bază.

*Prelucrarea mediului coroziv.* În unele cazuri putem acționa asupra mediului coroziv, pentru a micșora acțiunea lui distructivă asupra metalului de bază.

De exemplu, prin eliminarea gazelor din apă putem reduce considerabil acțiunea ei corozivă. Agitarea apei contribuie la eliminarea gazelor, întrucât în acest caz bulele mici de gaze se combină între ele și se ridică cu ușurință la suprafață.

Filtrând apă prin strungituri de fier se poate elimina oxigenul și această apă poate circula într'un sistem închis fără a provoca coroziunea.

Acțiunea corozivă a mediului poate fi micșorată prin introducerea în el a anumitor substanțe, de exemplu 0,5% bicromat (în cazul răcirii cu apă a motoarelor de avioane).

De aici

VIII

CAPITOLUL XIII

## 8.1 ALIAJELE NEFEROASE

8.1.1. Din categoria metalelor neferoase fac parte: arama (cuprul), aluminiul, plumbul, magneziul, nichelul, cositorul, zincul, antimoniul, bismutul și altele. Metalele neferoase sunt scumpe, deaceia se tinde la înlocuirea lor cu metale feroase (oțel, fontă). Dintre metalele neferoase, ale căror aliaje și-au găsit întrebuințare pe scară întinsă, cel mai prețuit în tehnică este cositorul; acestuia îi urmează: nichelul.



cuprul (arama) magneziul, aluminiul, zincul, plumbul. Cositorul este metalul industrial a cărui producție nu face față necesităților (deficitar). Metalele de felul cadmiului, antimoniului, bismutului, beriliului, natriului, etc., sunt folosite numai ca materiale de aliere. Antimoniul este folosit deasemenea pentru aliaje metalice de tipografie.

#### 64. Compoziția și proprietățile metalelor și aliajelor

**Cuprul.** Deși cuprul pur se găsește în stare nativă, extracția lui se face în special din minereu. În funcție de felul de extracție, cuprul conține o cantitate mai mare sau mai mică de corpuri străine (tabela 35).

Tabela 35

Compoziția chimică a cuprului (GOST 859-41)

Categoria cuprului	Cupru minimum	Bismut maximum	Antimoniu maximum	Total corpuri străine maximum
M0	99,95	0,002	0,002	0,05
M1	99,90	0,002	0,002	0,1
M2	99,70	0,002	0,005	0,3
M3	99,50	0,003	0,05	0,5
M4	99,0	0,005	0,2	1,0

Cuprul tip M0 este folosit pentru lucrări electrotehnice (conductori, bare) și pentru garnituri.

Cuprul tip M1 este folosit pentru prepararea aliajelor, al căror conținut de cupru depășește 67%.

Cuprul tip M2 este folosit pentru aliajele, al căror conținut de cupru este de 60-67%, cum și pentru piese fabricate (tuburi cilindrice, capace cilindrice nesolicitate, piese care lucrează la temperaturi ridicate).

Cuprul tip M3 — pentru fabricarea aliajelor al căror conținut este sub 60% cupru.

Cuprul tip M4 — pentru confecționarea pieselor turnate de mică importanță.

Tablele și benzile de cupru sunt confecționate din cupru tip M1, M2 și M3.

Cuprul pur (de culoare roz-roșiatică) posedă proprietăți importante de conductibilitate termică și electrică. Este în special folosit în electrotehnică pentru confecționarea conductorilor electrici, șinelor de contact, iar în termotehnică pentru construirea aparatelor de încălzire și de răcire. Paralel cu aceasta, datorită proprietăților sale anticorozive, el este folosit pe scară întinsă la confecționarea aparatelor chimice.

Datorită plasticității sale mari și gradului ridicat de tenacitate, cuprul se prelucurează greu la mașini unelte. Pentru modificarea acestor proprietăți este necesară forjarea lui la rece.

Din punct de vedere al uzurii la frecare, cuprul nu prezintă mare rezistență. Se sudează bine și se lipește ușor. La temperatura obișnuită și în lipsa bioxidului de carbon ( $\text{CO}_2$ ), suprafața cuprului nu se schimbă nici în mediu uscat nici în mediu umed. În caz de încălzire la temperatura de peste  $185^\circ\text{C}$  se produce oxidarea, care se manifestă la început prin formarea cocolii (protoxid de cupru) ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), iar în cazul încălzirii în continuare se formează oxid de cupru ( $\text{CuO}$ ).

La încălzirea cuprului în soluție de acid azotic ( $\text{HNO}_3$ ), cuprul se disolvă degajând oxid de azot ( $\text{NO}$ ), iar la încălzirea în acid sulfuric ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) degajând bioxid de sulf ( $\text{SO}_2$ ). Amoniacul și apa de mare dizolvă cuprul. Acidul clorhidric atacă cuprul numai la temperatura de fierbere.

Deși cuprul curat posedă proprietăți maxime de conductibilitate electrică, proprietățile lui elastice sunt inferioare. Pentru fabricarea cablurilor suspendate (conductori suspendați), cuprul curat se combină cu o cantitate mică de corpuri străine, care reducând în mică măsură proprietatea lui de conductibilitate electrică, îi imprimă rezistență. De pildă, 1% cadmiu sporește rezistența de rupere a cuprului cu 300% reducând proprietățile de conductibilitate electrică cu 20%.

Plasticitatea cuprului scade cu creșterea temperaturii. În preajma punctului de topire cuprul devine atât de fragil încât se pulverizează foarte ușor.

În stare topită cuprul absoarbe importante cantități de gaze care, degajându-se în timpul răcirii, formează goluri. Datorită acestui fapt piesele din cupru turnat au cantități importante de goluri și sunt folosite în industrie numai în cazuri excepționale (de pildă la turnarea pieselor fasonate, care iretue să posede proprietăți ridicate de conductibilitate electrică).

Prelucrarea cuprului la rece prin laminare îi mărește rezistența de rupere și limita de elasticitate, însă îi reduce alungirea. Prin această prelucrare duritatea cuprului se poate ridica dela 45 până la 90...100 ( $\text{H}_B$ ).

Proprietățile cuprului, obținute prin ecruisarea la rece se pot modifica prin încălzirea lui timp de 1...2 ore la temperatura de  $560\text{...}750^\circ\text{C}$ . Sub influența acestei încălziri granulele de cupru capătă forma echiaxială, însă nu reușesc să atingă dimensiuni mari. Schimbarea rezistenței de rupere și alungirii sârmei de cupru în funcție de temperatura de încălzire, se arată în figura 119 (Ciohralski). Temperatura de recoacere a cuprului în table, este în funcție de grosimea acestora.

Grosimea tablei în mm

sub 0,5  
0,5— 1,0  
1,0— 4,0  
4,0—10,0

Temperatura de recoacere în  $^\circ\text{C}$

500—600  
600—650  
650—700  
700—750



**Alama.** Aliajele de cupru cu zinc poartă denumirea de alamă. Din punct de vedere tehnic prezintă interes numai aliajele care conțin în compoziția lor până la 50% zinc, fiindcă mărirea cantității de zinc în astfel de aliaje contribuie la sporirea gradului de duritate făcându-le casante. Costul alamei este mai mic decât al cuprului. Alama posedă proprietăți mai pronunțate de stabilitate la coroziune (proprietăți anticorozive), cum și proprietăți mecanice superioare.

În figura 120 se arată variația proprietăților mecanice ale aliajelor în funcție de conținutul de zinc care intră în compoziția lor.

După cum arată curbele, alungirea și rezistența de rupere sunt la început în creștere, iar după aceea în scădere. Alungirea maximă o au aliajele care conțin între 28...32% zinc, iar rezistența maximă, aliajele cu 40...45% zinc. În tabelele 36 și 37 se dă compoziția chimică și destinația aproximativă a alamelor, laminate și turnate.

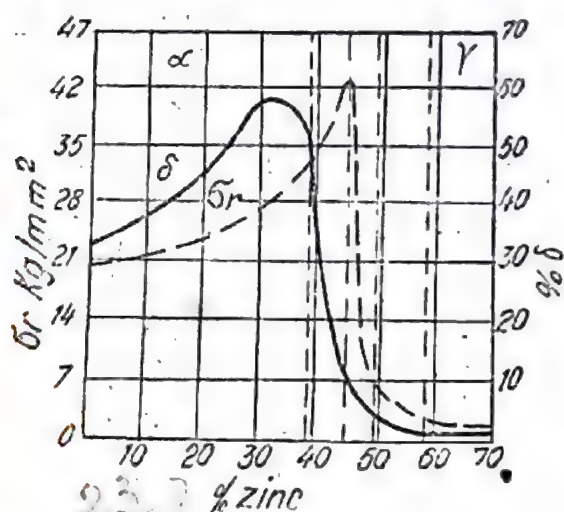


Fig. 120. Influența zincului asupra proprietăților mecanice ale alamei.

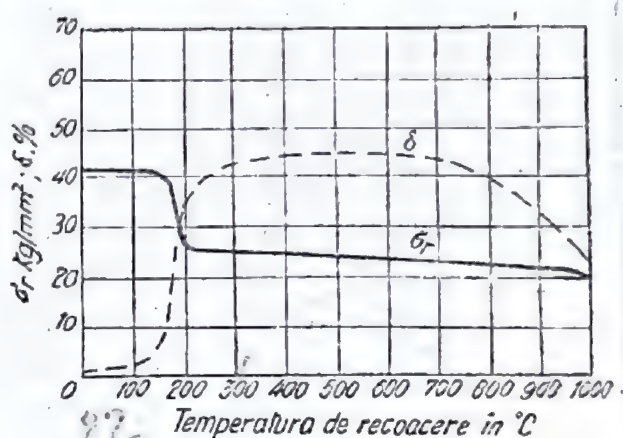


Fig. 119. Influența temperaturii de încălzire asupra rezistenței și alungirii sârmei de cupru, trefilată la rece (Ciohralski).

Alama care conține cantități mai mari de cupru între 88 și 97% poartă denumirea de tombac (LT 90, LT 95). Tombacurile se ștanțează ușor la rece, și au o culoare aurie foarte frumoasă. Ele sunt folosite pentru placare (acoperirea celorlalte metale în vederea prevenirii corodării acestora).

Denumirea calităților de alamă s'a făcut după următorul principiu: prima literă L<sup>1)</sup> înseamnă alamă, litera T înseamnă tombac. Literele următoare arată elementele care se găsesc în compoziția alamei. Cifrele arată elementele, care se găsesc în compoziția alamei

<sup>1)</sup> L vine dela cuvântul latun=alamă

J vine dela jeleza=fier

S vine dela svineț=plumb

*Mu de va di eto*

Tabela 3

Calitățile alamelor care se prelucurează prin laminare și destinația lor aproximativă

Denumirea	Calitatea	Conținutul de cupru în %	Conținutul din celelalte elemente în % (zinc — etc.)	Conținutul de adaosuri %	Destinația aproximativă
Tombac . . . . .	LT 96	95—97	—	0,3	Tuburi pentru radiatoare
Tombac . . . . .	LT 90	88—91	—	0,3	Table, benzi pentru nivel
Semi tombac . . . . .	L 80	78—81	—	0,3	Table, benzi, sârmă
Alamă . . . . .	L 68	67—70	—	0,3	Țevi, benzi, sârmă, table
Alamă . . . . .	L 62	60,5—63,5	—	0,7	Fâșii, table, benzi, țevi, vergi, sârmă
B. Alamă . . . . .	LS 51-1	50—53	0,7—1,3 Pb	1,0	Vergi
Alamă cu plumb . . . . .	LS 59-18	57—61	0,8—1,9 Pb	2,0	Vergi trase, presate, laminate
Alamă cu plumb . . . . .	LS 59-1	57—60	0,8—1,9 Pb	0,75	Table, benzi, sârmă, vergi, țevi
Alamă cu plumb (destinație specială) . . . . .	LS 60-1	59—61	0,6—1,0 Pb	0,5	Vergi
Alamă cu plumb . . . . .	LS 64-2	63—66	1,5—2,0 Pb	0,8	Benzi, fâșii, vergi pentru ceasornicărie
Alamă cu staniu . . . . .	LO 62-1	61—63	0,7—1,15 Sn	0,3	Table, vergi
Alamă cu staniu . . . . .	LO 70-1	69—71	1,0—1,5 Sn	0,1	Țevi presate
Alamă cu aluminiu . . . . .	LA 772	76—79	1,75—2,5 Al	0,3	Țevi pentru condensatoare
Alamă cu aluminiu și nichel	LAN 59-3-2	57—60	2,5—3,5 Al 2—3 Ni	0,9	Țevi, vergi
Alamă cu nichel . . . . .	LN 65-5	64—67	5—6,5 Ni	0,3	Țevi pentru manometre, țevi de condensator, benzi de antifricțiune, rețele
Alamă cu fier și mangan	LJMT-59-1-1	57—60	0,6—1,2 Fe 0,5—0,8 Mn 0,1—0,2 Al 0,3—0,7 Sn 1,0—2,0 Mn	0,2	Table, vergi, sârmă, țevi
Alamă cu mangan . . . . .	LMT 58-2	57—60	1,0—2,0 Mn	1,5	Țevi, tablă, sârmă
Alamă cu fier și plumb	LJS 58-1-1	57—60			Vergi
Alamă cu siliciu . . . . .	LK 80-3	79—81	1,5—4,5 Si		Piese forjate brut și piese ștanțate
Alamă cu mangan și aluminiu . . . . .	LMTA 57-3-1	55—58,5	2,5—3,5 Mn 0,5—1,5 Al		Piese forjate brut



Compoziția chimică și destinația aproximativă a alamelor de turnătorie

Denumirea	Calitatea	Conținutul de cupru %	Conținutul din celelalte elemente (Zn. etc.) %	Conținutul de adaosuri %	Destinația aproximativă
Alamă de aluminiu . . . . .	LA 67-2,5	66—68	2—3 Al	3,4	Piese rezistente la coroziune în construcții navale și piese de mașini
Alamă alumino-fero-manganică . . . . .	LAJM 70-6-3-2	68—72	5—6 Al 2,5—3,5 Fe 0,5—1,5 Mn		Piulițe de strâns șuruburile mele masive, care lucrează în condiții grele
Alamă silicioasă . . . . .	LK 80-3	79—81	1,5—4,5 Si	2,8	Armături, roți dințate, piese pentru vase
Alamă siliciu-plumb . . . . .	LKS 80-3-3	79—81	1,5—4,5 Si 1,0—4,5 Pb	2,0	Lagăre și bucele
Alamă mangan-plumb . . . . .	LMȚS 58-2-2	57—60	1,5—2,5 Mn 1,5—2,5 Pb	3,4	Paliere, bucele și alte piese de anti-fricțiune
Alamă mangan-staniu-plumb	LMȚOS 58-2-2-2	56—60	1,5—3,0 Mn 0,5—3,0 Sn 0,5—2,5 Pb	1,2	Roți dințate
Alamă mangan-fier . . . . .	LMTJ 55-4-1	53—58	3,0—4,0 Mn 0,5—1,5 Fe	3,2	Piese masive pentru construcții maritime
Alamă mangan-fier . . . . .	LMTJ 52-4-1	50—54	3,0—4,5 Mn 0,5—1,5 Fe		Piese de auto, lagăre fără importanță
Alamă mangan-nichel-fier . . . . .	LMTJ 52-2-2-1	50—54	1,5—2,5 Mn 1,5—2,5 Ni 0,5—1,5 Fe	3,6	Piese masive cu destinație specială turnate în serie pentru construcții de nave
Alamă staniu-plumb . . . . .	LOS 65-1-2	60—70	0,5—2,0 Sn 1,0—3,0 Pb	1,6	Armături pentru conducte de apă și de încălzire care lucrează sub presiune până la 10 atmosfere

în cantitate mijlocie. De pildă LJS-58-1-1 însemnează, că în compoziția alamei intră 58% cupru, circa 1% fier și circa 1% plumb.

Alama LT 96, LT 90, Lt 80, LT 68, LN 65-5 posedă importante proprietăți plastice și se prelucrează foarte bine prin presare nu numai la cald, dar și la rece.

Alama L59, este dură și se prelucrează la strung numai cu viteze reduse de tăiere.

Alama cu conținut de plumb se prelucrează bine cu ajutorul sculelor. Proprietățile acestor alame variază pe scară întinsă în funcție de tratamentul lor termic. Combinând călirea cu recoacerea ulterioară, alamelor li se pot imprima importante proprietăți mecanice. Alama LS 64-2 posedă proprietăți perfecte de antifricțiune.

Alama cu conținut de cositor rezistă foarte bine la coroziunea apei de mare. Deseori această calitate de alamă poartă chiar denumirea de „alamă marină“.

Alama fero-manganică LJMȚ 59-1-1 posedă bune proprietăți mecanice, stabilitate la acțiunea de coroziune a apei de mare și a aerului. Posedă deasemenea calități superioare de antifricțiune.

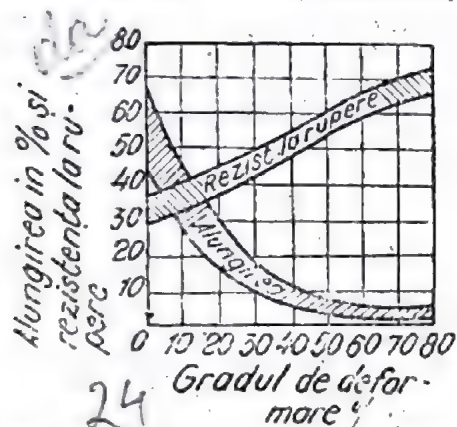


Fig. 121. Variația proprietăților mecanice ale alamei (L 62) în funcție de gradul de deformare conform-tabelelor uzinei „Crasnâi Căborjet“.

Alama cu conținut de aluminiu LAN 59-3-2 rezistă foarte bine la coroziune și posedă calități mecanice superioare. La ridicarea temperaturii până la 300 °C calitățile ei scad în mod brusc. Ea este folosită pe scară întinsă în electrotehnică și construcții de mașini electrice.

Alamele cu mangan LMT 58-2, care rezistă la coroziune în apa mării și în condițiile atmosferice sunt folosite pe scară întinsă în construcții de mașini, în industria automobilelor și în industria electrotehnică.

Alama cu nichel LN 65-6 datorită proprietăților sale de antifricțiune, proprietăților mecanice, și proprietăților anticorrosive, este folosită în construcții navale și industria autotractorilor.

Sub influența ecruisării la rece alama își schimbă foarte mult proprietățile. În figura 121 se dau curbele care caracterizează variația rezistenței de rupere și alungirii alamei al cărei conținut de cupru este de 62%.

În cazul când ecruisarea la rece este intensă, limita de elasticitate se apropie de rezistența de rupere, iar alungirea se apropie de zero.

Pentru a i se restabili plasticitatea, alama ecruisată, este supusă recoacerii la temperatura de 600...700 °C. Sub influența recoacerii se produce fenomenul de recrystalizare.



În cazurile când se cere reducerea tensiunilor interne cu menținerea proprietăților mecanice, se va proceda la recoacerea alamei L 68 la 300 °C, iar a alamei L 60 la 250 °C.

Alamele sunt anticorozive în condițiile atmosferice. Apa mării produce coroziunea care se extinde asupra periferiilor granulelor (fig. 118) (coroziunea intercristalină). La temperatura obișnuită acidul sulfuric și acidul clorhidric atacă foarte slab aliajele de cupru-zinc. Aceste aliaje sunt distruse de: acidul azotic, amoniac, clorura de amoniu, leșii, oțet. Cu cât conținutul de zinc va fi mai mare, cu atât coroziunea aliajelor va fi mai pronunțată.

Cuprul în combinație cu zincul formează o serie întreagă de aliaje, care diferă foarte mult unul de altul atât din punct de vedere chimic, cât și din punct de vedere al proprietăților.

În condițiile de fabricație, răcirea aliajelor după solidificarea lor se face atât de repede, încât difuziunea elementelor nu are timp să se producă complet, din care cauză aliajele își mențin structura neomogenă. Pentru a se obține aliaje cu structură omogenă urmează ca după solidificare, răcirea lor să se facă foarte lent până la temperatura de 700...650 °C sau să se recoacă aliajele timp de 3...4 ore la temperatura de 650 °C.

Dacă după turnare alama este supusă încălzirii în vederea prelucrării la cald sau a ecruisării, cu încălzire ulterioară în vederea recristalizării, atunci aliajele capătă structura omogenă chiar fără recoacere specială.

Starea stabilă a alamei se poate obține prin călire cu recoacere ulterioară. Călirea energetică a alamei cu conținutul de cupru de 62,5% la temperatura de 890 °C, îi va imprima structura neomogenă, iar recoacerea la 500 °C va contribui la formarea structurii omogene.

Culoarea aliajelor este în funcție de conținutul de cupru și anume: aliajele vor avea culoare roșie atunci când conțin 90...100% cupru; culoarea galben-roză când conțin 80...85% cupru; galbenă deschisă când conțin 66...72% cupru și galbenă cu nuanță roșiatică când în compoziția lor există 57...62% cupru.

**Bronzurile.** Aliajele de cositor (staniu) cu cupru poartă denumirea de bronzuri. În tabela 38 se arată compoziția chimică a bronzurilor cu staniu, care sunt folosite în industria construcțiilor de mașini.

La denumirea calităților, după literele Br, care indică faptul că aliajul face parte din categoria bronzurilor, sunt așezate litere și cifre, care indică adausurile principale și conținutul lor mijlociu în compoziția aliajului.

În comparație cu celelalte aliaje de cupru, bronzurile posedă următoarele proprietăți. Ele sunt foarte rezistente; posedă proprietăți bune de turnare, contracție scăzută, sunt anticorozive și au proprietăți de

antifricțiune. Bronzurile se prelucerează ușor la strung. În figura 122 se dau curbele care caracterizează variațiile de alungire, rezistența de rupere și duritatea bronzurilor, în funcție de cantitatea de cositor care intră în compoziția lor.

Tabela 38

Compoziția chimică a bronzurilor cu cositor, folosite în industria construcțiilor de mașini

Calitatea	Conținutul de cositor în %	Conținutul de celelalte elemente în %	Conținutul de adaosuri max. în %	Materialele de înlocuire (A. P. Smireaghin)
Br 010	9,0—11,0	—	1,0	Br A10, Br AJ0—4, LKS-80-3-3, LK 80-3,5, LMT 58—2—7, LS 50, LA 67—2
Br OT10—2	9,0—11,0	2,0—4,0 Zn	1,0	Idem
Br OT8—4	7,0—9,0	4,0—6,0 Zn	1,0	Alame speciale, aliaje pe bază de aluminiu, aliaje pe bază de zinc
Br OTS6-6-3	5—7	5—7 Zn 2—4 Pb	3,5 1,0	idem
Br OT4—3	3,0—5,0	2,0—4,0 Zn	0,25 0,30	Br KMt 3—1
Br OTS4-4-25	3,0—5,0	3,0—5,0 Zn 1,5—3,5 Pb	0,1	Br A5, Br A7 Br KMt 3—1, LN65—5 Br AJ9—4
Br OF6,5-0,4	6,0—7,0	0,3—0,4 P	0,05 0,3	Br AJN10—4—4 Br AJN11—6—6
Br OF10—1	9,0—11,0	0,8—1,2 P	0,75	Br Mt S8—20
Br OS8—12	7,0—9,0	11,0—13,0 Pb	0,75	Idem și Br S30 Br MtS5—25
Br OS7—17	6,0—8,0	15,0—19,0 Pb	0,8	Br MtS8—20
Br OS5—25	4,0—6,0	23,0—26,0 Pb	0,8	Idem și Br ANJ10—4—4 BJ 9—4
Br OS10—10	9,0—11,0	9,0—11,0 Pb	0,75	BAJ Mt1—3—1,5
Br ONS11-4-3	10,0—12,0	4,0—Ni 3,0 Pb	0,75	

Intrucât difuzarea staniului și a cuprului în bronzuri se desfășoară foarte încet, bronzurile au structura dendritică ceea ce contribuie la importante variații ale proprietăților lor mecanice. Prin recoacere de lungă durată la temperatura de 800—900 °C se poate îndrepta struc-



tura dendritică a bronzurilor cu conținut de 5...10% Sn. Pentru omogenizarea structurii se poate de asemenea recurge la încălzire de lungă durată (timp de 5...10 ore) la temperatura de 600...650 °C, urmată de răcirea aliajului într-o baie de apă.

Conținutul maxim de staniu în compoziția bronzurilor folosite în tehnică este de 20%. Dacă acest conținut crește, bronzurile devin casante, iar dacă atinge 30% staniu, se sparg la lovire ca sticla. Acest lucru se datorește formării de importante cantități de combinații chimice casante. La rece se pot prelucra perfect numai bronzurile care conțin în compoziția lor maximum 8% staniu. După prelucrarea la rece se procedează la recoacerea lor la temperatura de 500...600 °C.

În majoritatea cazurilor bronzurile sunt folosite pentru confecționarea pieselor turnate. Piese turnate care conțin până la 20% staniu, rezistă foarte bine la uzura prin frecare.

Proprietăți superioare posedă bronzul cu beriliu, care este anticorrosiv. El mai posedă și proprietăți mecanice foarte bune. Singurul neajuns al acestei calități de bronz este costul prea ridicat. Bronzul cu beriliu se poate prelucra și la rece și la cald. În stare inițială acest bronz este puțin dur (circa 100 H<sub>B</sub>). După călire la temperatura de 750...800 °C în baie de ulei sau apă și îmbătrânire timp de trei ore la temperatura de 350...400 °C, duritatea lui se ridică până la 400 H<sub>B</sub>, iar rezistența de rupere a acestui bronz laminat atinge 150 kg/mm<sup>2</sup> cu o alungire de 2...3%. Dacă piesa turnată este supusă procedurii de îmbătrânire, atunci rezistența de rupere crește până la 70...90 (kg/mm<sup>2</sup>). Prelucrarea mecanică a bronzului cu beriliu se face imediat după călire și abia după aceasta se procedează la îmbătrânire.

Bronzul cu beriliu este folosit pentru confecționarea resoartelor, pompelor, paletelor de turbină, aparatelor de măsură și altor piese din domeniul construcțiilor de motoare, din electrotehnică și din domeniul construcțiilor de avioane.

**2.2.3. Bronzuri de înlocuire.** Întrucât staniul este un material scump și deseori greu de procurat, în industrie sunt adesea folosite bronzuri de înlocuire. M. P. Slavinski s'a ocupat pe larg cu studiul aliajelor de înlocuire a bronzurilor și a contribuit în mare măsură la introducerea în practica industrială a unei serii întregi de aliaje neferoase fără staniu în compoziția lor. Tabela 38 cuprinde nomenclatura aliajelor de înlocuire a bronzului cu staniu. Bronzurile de aluminiu posedă proprietăți mecanice superioare, mai ales în cazul sarcinilor dinamice și sunt cele mai anticorrosive în apa mării, în acid sulfuric,

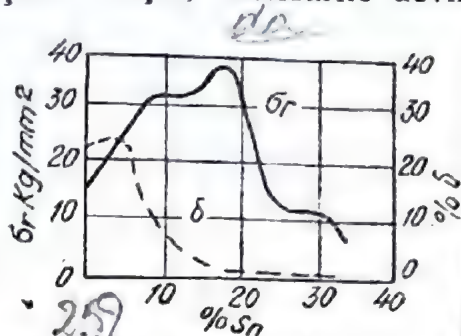


Fig. 122. Influența staniului asupra proprietăților mecanice ale bronzului.

*seria ca paraf 203*  
*nov.*



clorhidric, fosforic, citric, acetic și lactic, în mediul de gaze sulfuroase, precum și în abur supraincălzit. Acizii minerali distrug bronzul de aluminiu. În stare lustruită bronzul se poate păstra multă vreme. Bronzurile de aluminiu sunt superioare bronzurilor cu fosfor din punct de vedere al uzurii prin frecare.

Modificarea proprietăților mecanice ale bronzului de aluminiu în funcție de conținutul de aluminiu este arătată în figura 123.

Conținutul maximal de aluminiu în bronzuri atinge 10%. Dacă se mărește acest conținut, bronzul devine prea casant. În industrie

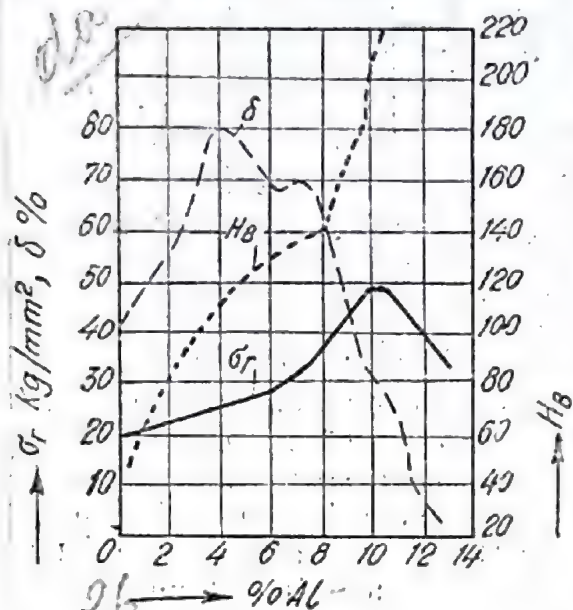


Fig. 123. Influența aluminului asupra proprietăților mecanice ale bronzului.

misii elicoidale, formelor în industria sticlei, etc. Posedând proprietăți bune de curgere în stare lichidă, bronzul de aluminiu este folosit pe scară întinsă pentru turnarea pieselor fasonate. Acest bronz se poate căli și reveni. Deseori bronzul de aluminiu este folosit după ce a fost călit în apă rece și revenit la temperatura de 650°C timp de 1-2 ore. În cazul acesta duritatea crește până 270 (H<sub>B</sub>).

Un important neajuns al bronzului Br A-10 este contracția lui mare care este egală cu 2,3% (contracția bronzului de aluminiu reprezintă 1,3-1,5%). Din categoria neajunsurilor bronzului de aluminiu fac parte scăderile relativ brusce ale rezistenței de rupere la temperaturi ridicate (de pildă la temperatura de 20°C,  $\sigma_r$  este egală cu 60 kg/mm², iar la 500°C,  $\sigma_r = 19,2$  kg/mm²), precum și scăderea proprietății de antifricțiune.

Aplicare pe scară întinsă și-a găsit bronzul cu aluminiu și mangan, care conține circa 2% mangan și 9% aluminiu (Br AMT 9-2). Manganul sporește rezistența de rupere, sporește proprietățile anticorozive, și înlătură fragilitatea bronzurilor de aluminiu, în cazul răcirii lente.



Bronzul Br AMT 9—2 este folosit pentru confecționarea armăturii de aburi, roților elicoidale, cuzinetilor pentru paliere, coroanelor dintate, etc. Rezistența bronzului Br AMT 9—2 în stare inițială ajunge până la 65 kg/mm<sup>2</sup>, având alungirea de 16%. Bronzul de aluminiu și mangan capătă proprietăți noi după călire și revenire, ceea ce se explică prin solidificarea dispersată a acestor bronzuri. Variația dimensiunii acestor bronzuri încetează după 15 ore.

Bronzul silicios înlocuiește cu succes bronzul cu staniu. Aceste bronzuri sunt foarte rezistente la coroziune în apa mării și în condițiile atmosferice. Sunt însă inferioare bronzurilor cu staniu din punct de vedere al proprietăților de antifricțiune. Piesele turnate din bronzul silicios rezistă la presiuni hidraulice foarte ridicate.

Bronzurile în compoziția cărora intră până la 4% siliciu, se pot prelucra prin laminare atât la cald, cât și la rece. Dacă aliajul conține cantități mari de siliciu, aceste bronzuri devin casante, în care caz se prelucurează prin laminare numai la cald. Manganul în cantitate de 1,5...3% acționează pozitiv asupra bronzului silicios. Plumbul ameliorează proprietățile de antifricțiune ale acestui bronz.

Bronzul silicios se poate trefila la rece, în care caz rezistența de rupere poate ajunge până la 100...110 kg/mm<sup>2</sup>.

Bronzul cu conținut de mangan (Br M-5 și Br M-10) posedă proprietăți mecanice superioare și este perfect anticoroziv. El își schimbă relativ puțin proprietățile mecanice la temperaturi ridicate. Conținutul de plumb de circa 2% în bronzurile cu mangan ameliorează posibilitatea de prelucrare a bronzurilor la strung, mărește proprietățile de antifricțiune, însă, paralel cu aceasta, reduce proprietățile mecanice.

Aluminiul și aliajele lui. Greutatea specifică a aluminiului este mică (2,73). Acoperindu-se cu un strat subțire de oxid, rezistă foarte bine la coroziune și posedă proprietăți mecanice relativ superioare și o bună conductibilitate electrică. Conductibilitatea electrică a aluminiului este egală cu 60% din conductibilitatea electrică a cuprului. Din punct de vedere al greutății specifice relativ scăzute, folosirea aluminiului pentru confecționarea conductorilor electrici este rentabilă. Pentru mărirea rezistenței lor, cablurile sunt prevăzute cu miezuri de oțel sau în compoziția aluminiului se introduc adausuri de elemente care-i sporesc rezistența.

Aluminiul se poate prelucra foarte bine atât la cald cât și la rece; la cald se prelucurează la 400...450°C. Cu cât granulele structurii aluminiului sunt mai mari, cu atât prelucrarea lui se face mai greu. Prin ecruisare la rece, aluminiul devine casant. Pentru a-i reda proprietățile plastice se procedează la recoacerea intermediară la temperatura de 350...450°C timp de 2...3 ore.

Aluminiul se oxidează foarte repede în aer liber, însă pelicula de oxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) îl apără de oxidare în adâncime. Cu cât aluminiul



este mai pur din punct de vedere chimic, cu atât va fi mai rezistent la coroziune, iar această proprietate crește și mai mult după recoacere. La temperatura obișnuită acidul sulfuric și azotic acționează foarte slab asupra aluminiului, dar în apa mării sau în acid clorhidric se distruge foarte repede.

Aluminiul pur și-a găsit întrebuințare pe scară întinsă în industria chimică și alimentară, precum și la confecționarea foilor (staniol).

Rezistența de rupere a aluminiului turnat este  $9\cdots 12 \text{ kg/mm}^2$ , dar aluminiul laminat la rece are  $18\cdots 28 \text{ kg/mm}^2$ , cel supus recoacerii  $7\cdots 11 \text{ kg/mm}^2$ . Alungirea corespunde respectiv  $18\cdots 25\%$ ,  $3\cdots 5\%$  și  $30\cdots 45\%$ . În industrie sunt folosite în special aliajele de aluminiu care posedă bune proprietăți mecanice și de turnare. Aluminiul în combinație cu alte elemente își mărește în mare măsură rezistența sa de rupere, care este în funcție directă de tratamentul termic. Saturația cu gaze a aliajelor ușoare are mare influență asupra proprietăților lor mecanice. Academicianul A. A. Bocivar și docentul A. G. Spasschi au elaborat metoda de cristalizare a aliajelor sub presiune, ceea ce reduce în mare măsură porozitatea.

Aliajele ușoare sunt supuse prelucrării termice în vederea ameliorării proprietăților lor mecanice, reducerii tensiunilor și scăderii durității.

Pentru sporirea proprietăților mecanice se folosește călirea urmată de revenire de lungă durată (îmbătrânire). Asupra calității aliajelor influențează în mare măsură temperatura lor de călire. Temperatura prea înaltă contribuie la ardere, în timp ce temperatura joasă de încălzire împiedică obținerea proprietăților mecanice optime. Încălzirea pentru călire se recomandă să fie făcută după o încălzire prealabilă până la  $300\cdots 350^\circ\text{C}$ .

De regulă după călire, aliajele ușoare sunt supuse îmbătrânirii (naturale sau artificiale). În timpul îmbătrânirii din aliaje se separă combinații chimice foarte mici, care intră în compoziția aliajului. În cazul când îmbătrânirea se face la o temperatură prea înaltă, sau în cazul menținerii un timp mai îndelungat, granulele obținute sunt mai mari, ceea ce contribuie la înmuiere și la reducerea rezistenței.

Tensiunile se înlătură în timpul încălzirii până la temperatura de  $300\cdots 350^\circ\text{C}$ . Recoacerea totală se face la temperatura de  $350\cdots 450^\circ\text{C}$ , însă trebuie să avem în vedere că la temperaturi înalte de recoacere sau în cazul menținerii mai îndelungate are loc mărirea granulelor, fapt care face aliajul casant.

Deseori aliajele de aluminiu conțin cupru, care finisează structura și îmbunătățește în mare măsură proprietățile mecanice. Prezența cuprului mărește stabilitatea aliajelor la coroziune în apa mării.

Aliajele de cupru și aluminiu se laminează și se forjează satisfăcător numai atunci, când conținutul de cupru nu depășește  $5\%$ .



Când această cantitate depășește 5%, ele sunt folosite pentru tur. ătorie, dar și în acest caz conținutul maxim de cupru nu trebuie să depășească 20%.

Aceste aliaje se călesc la temperatura de 500 °C, iar după călire sunt încălzite pentru îmbătrânire la 150 °C timp de 6 ore.

Aliajele de aluminiu cu siliciu se toarnă bine și posedă proprietăți ridicate. Aceste proprietăți se obțin prin finisarea structurii, care se realizează prin introducerea substanțelor modificatoare în compoziția aliajelor. Substanțele modificatoare folosite sunt: fluorura de litiu, natriu și calciu. Aliajele de aluminiu cu 5...20% siliciu poartă denumirea „silumin”. Siliciul mărește rezistența aluminiului la coroziune.

În industrie și-au găsit întrebuințare aliajele cu conținutul de 12...13% siliciu. Greutatea lor specifică este de 2,6, iar contractia 1,0...1,14%. Rezistența de rupere a siluminului variază în limitele 18...23 kg/mm<sup>2</sup>, iar alungirea 4...10%.

Siluminul este folosit pentru turnarea pieselor de formă complexă.

Siluminul se călește la temperatura de 525...535 °C și este supus îmbătrânirii la temperatura de 125...150 °C timp de 70 de ore.

Aliajele în compoziția cărora intră 5...6% siliciu sunt rar folosite pentru confecționarea pieselor cu proprietăți mecanice scăzute.

Introducerea în compoziția siluminului a unor cantități oarecare de cupru le mărește rezistența, însă le micșorează plasticitatea. Cuprul în cantitate de 0,8% mărește proprietățile dinamice ale aliajelor. Aliajele de aluminiu cu 1...3% siliciu și 2...4% cupru poartă denumirea de „lantal”. Acest aliaj (lantal) se fasonază perfect atât la cald cât și la rece și se prelucurează ușor la mașini unelte. Tratatamentul termic al acestui aliaj constă în călirea lui la 480...510 °C și îmbătrânirea la 120...150 °C timp de 16...48 ore. Rezistența de rupere a acestui aliaj se poate ridica prin laminare la rece până la 60 kg/mm<sup>2</sup> și alungirea la 3...12%.

În tehnică sunt folosite aliaje complexe de aluminiu cu siliciu, mangan, cupru, etc. În cazul acesta în timpul îmbătrânirii se separă cantități mici de incluziuni chimice ale combinațiilor de magneziu cu siliciu (Mg<sub>2</sub>Si) și ale cuprului cu aluminiu (CuAl<sub>2</sub>). Paralel cu proprietățile ridicate, aceste aliaje posedă suficientă rezistență contra coroziunii și se prelucurează bine la mașini unelte.

Aliajul care poartă denumirea de duraluminiu este bine cunoscut. Duraluminiul conține în compoziția sa, înafară de aluminiu și 3,5...4,5% cupru, 0,4...0,7% magneziu, 0,3...0,6% siliciu, 0,4...0,8% mangan și 0,2...0,3% fier. Mărirea conținutului de cupru și magneziu face aliajul casant și scade posibilitatea de prelucrare prin presare.

Duraluminiul se prelucurează bine atât la rece, cât și la cald. El umple matrițele deosebit de bine la temperatura de forjare de



420...480 °C, dar la încălzirea până la temperatura de 500 °C deseori formează crăpături în timpul deformării.

Rezistența de rupere a duraluminiului se poate ridica prin laminare la rece până la 50...55 kg/mm<sup>2</sup> și alungirea până la 3...12%.

Proprietățile mecanice (rezistența de rupere și alungirea) ale duraluminiului cresc paralel cu gradul de prelucrare (la cald) până la 60%. Acest lucru se explică prin sdrobirea și repartiția mai uniformă a granulelor din aliaj.

După călire duraluminiul posedă duritate relativ redusă, însă după 1...2 ore această duritate începe să crească ajungând la maximum peste 7 zile (respectiv 170 ore). Prelucrarea prealabilă la rece (premergătoare călirii) prin presare accelerează îmbătrânirea și permite realizarea valorilor mai ridicate pentru rezistența de rupere, duritate și alungire.

Intrucât duraluminiul după călire are duritatea scăzută, prelucrarea pieselor la mașini unelte se face imediat după călire. Imbătrânirea duraluminiului este încetinită în mare măsură de temperaturile scăzute. Deaceea pentru menținerea plasticității niturilor de duraluminiu, după călire, acestea sunt introduse într'un vas răcit cu ajutorul acidului carbonic. Duraluminiul se călește la temperatura de 490...510 °C. Încălzirea până la 540 °C provoacă arderea lui. Menținerea timp mai îndelungat la temperatura de călire produce creșterea dimensiunilor granulelor, ceea ce la rândul său reduce proprietățile mecanice ale aliajului. Durata de încălzire a duraluminiului se poate determina din formula:

$$t = C \sqrt{A},$$

unde  $t$  — durata de timp în minute;

$C$  — coeficient (pentru materialul a cărui grosime este sub 1 milimetru acesta este egal cu 10, iar pentru materialul mai gros de 1 milimetru este egal cu 20);

$A$  — grosimea materialului în milimetri.

Pentru a scurta îmbătrânirea, care durează aproape trei săptămâni, duraluminiul este încălzit până la temperatura de 150...175 °C. La temperaturi de încălzire mai înalte duritatea lui începe să scadă. Duritatea minimă se obține dacă aliajul este încălzit la temperatura de 350 °C, deaceea recoacerea aluminiului după prelucrarea lui la rece prin presare se face la temperatura de 350...375 °C.

Intrucât duraluminiul are o rezistență mică la coroziune, se acoperă (plachează) cu lame de aluminiu.

Mărirea conținutului de siliciu, magneziu și mangan în compoziția duraluminiului, permite sporirea proprietăților lui mecanice. Aceste aliaje poartă denumirea de superduraluminiu. Compoziția lor chimică este cuprinsă între următoarele limite: 4,3...5,2% cupru, 0,5...1,0% magneziu, 0,6...1,2 mangan, 0,6...1,0 siliciu și maximum 0,6% fier. Călirea superaluminiului se face la temperatura de 495...508 °C, după care rezistența de rupere este de 43...44 kg/mm<sup>2</sup>, iar alungirea de



10...12<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Aliajul care conține 3,6...4,7<sup>0</sup>/<sub>0</sub> cupru, 1,25...1,75<sup>0</sup>/<sub>0</sub> magneziu, 0,3...0,9<sup>0</sup>/<sub>0</sub> mangan, maximum 0,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> fier și maximum 0,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> siliciu, are rezistența de rupere de 46...54 kg/mm<sup>2</sup> și alungirea 14...18<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Aliajele de aluminiu cu conținut de 4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> cupru, 1,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> magneziu și 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> nichel (aliajele Y) sunt folosite în stare turnată și în stare forjată. Rezistența lor de rupere este de 34...42 kg/mm<sup>2</sup>, iar alungirea 17...22<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Proprietățile mecanice ale aliajului se mențin și la temperaturi ridicate. Forjarea se face în intervalul de temperatură 520...350 °C.

Aliajele care în compoziția lor au 1,30...2,25<sup>0</sup>/<sub>0</sub> cupru, 1,3<sup>0</sup>/<sub>0</sub> nichel, 0,10...19,6 magneziu, 0,1...0,18<sup>0</sup>/<sub>0</sub> titan și 0,5...2,20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> siliciu își găsesc întrebuințare atât în stare turnată cât și în stare forjată. Titanul le finisează structura și le ameliorează proprietățile mecanice. Temperatura de forjare este de 520...350 °C. Călirea se face la temperatura 510...535 °C. În vederea îmbătrânirii aliajul este încălzit la temperatura de 150...175 °C timp de 14...20 ore. Proprietățile de turnare ale acestor aliaje sunt foarte bune, deaceia ele sunt folosite pe scară întinsă pentru turnarea pieselor de formă complexă.

Aliajul care în compoziția lui conține 9,5...11<sup>0</sup>/<sub>0</sub> magneziu, este folosit pentru piese turnate sub denumirea de „magnal”. Tratamentul său termic constă în călire la temperatura de 430...450 °C (de notat este că menținerea la această temperatură durează până la 20 ore). În cazul îmbătrânirii naturale sau al încălzirii până la 100 °C, aliajul nu-și schimbă deloc proprietățile, dar îmbătrânirea la temperaturi mai ridicate face aliajul casant. Având în vedere acest lucru aliajul este folosit în stare călită fără îmbătrânire; în care caz rezistența lui de rupere este de circa 30 kg/mm<sup>2</sup>, iar alungirea 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Aliajele care conțin 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> nichel, 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> bismut și 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> antimoniu, sunt rezistente la coroziune în acid sulfuric. Aliajele în compoziția cărora intră 2,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> mangan, 2,25<sup>0</sup>/<sub>0</sub> magneziu și 0,2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> antimoniu rezistă la coroziune în apa mării.

**8.2. Magneziul și aliajele lui.** Magneziul are greutate specifică mică (1,74) și rezistență relativ mare. Magneziul este rezistent la coroziune în leșii (cu excepția soluțiilor de borax), în timp ce apa mării și acizii îl distrug foarte repede. La încălzire până la 410...450 °C magneziul se oxidează puternic, arzând cu o flacără orbitor de strălucitoare. La încălzire până la 660 °C el se combină cu oxigenul și produce explozie. Se poate topi în hidrogen sau sub un strat de fondanți care îl feresc de oxidare și de acțiunea azotului.

Zincul și aluminiul măresc rezistența anticorosivă a magneziului și-i ameliorează proprietățile mecanice. Aliajele care conțin până la 11<sup>0</sup>/<sub>0</sub> aluminiu sunt cunoscute sub denumirea de „electron”. Uneori aliajele de magneziu, înafară de aluminiu (2,5...11<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) mai conțin și zinc (0,5...2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), mangan (0,10...2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) sau siliciu (1...1,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>).

Aliajele de magneziu se călesc și sunt supuse îmbătrânirii. Majoritatea acestor aliaje se încălzesc înainte de călire până la tempe-

P. Aci  
In contin  
...  
...  
...  
...  
...  
...



ratura de 410...420 °C și se mențin la această temperatură timp de circa 16 ore. Face excepție electronul, care conține 5...7% aluminiiu și 2...3% zinc (MA-4), a cărui încălzire se face până la 375...385 °C. După călire aliajele sunt ținute pentru îmbătrânire la temperatura de 170...180 °C timp de 16 ore.

În urma tratamentului termic rezistența de rupere crește până la 30...35 kg/mm<sup>2</sup>, iar alungirea scade până la 1...3%.

Aceste aliaje se prelucreează bine, deoarece sunt folosite în formă de lingouri ca piese forjate brut și ca diferite profile laminate. În vederea apărării lor contra coroziunii aliajele de magneziu se îmbracă cu plăci de aluminiiu, se vopsesc ori se acoperă cu lacuri. Neajunsul aliajelor de magneziu constă în neomogenitatea compoziției lingourilor, cum și în posibilitatea de încălzire și aprindere a pieselor în timpul prelucrării lor mecanice. Trebuie să se aibă în vedere că în timpul arderii magneziul descompune apa și produce explozie. Deaceea este absolut interzisă stingerea cu apă a aliajului de magneziu aprins; în general nu se recomandă folosirea răcirii cu apă a sculelor de tăiere cu ajutorul cărora se face prelucrarea magneziului.

#### ~~CAPITOLUL XIV~~

### 8.3.1 ALIAJELE ANTIFRICȚIUNE

Aliajele antifricțiune reduc frecarea în lagăre și totodată contribuie la scăderea uzurii fusurilor arborilor.

Academicianul A. M. Bocivar prin lucrările sale a contribuit la stabilirea unei discipline științifice referitoare la funcționarea aliajelor antifricțiune și la stabilirea compoziției lor chimice (tabela 39).

Alegerea unui anumit aliaj este în funcție de condițiile de lucru ale pieselor supuse frecării (presiunea, viteza de rotire, temperatura pieselor supuse frecării, proprietățile fizice ale acestora, etc.). Aliajele antifricțiune trebuie să se ajusteze perfect pe fusul arborelui, fără a provoca uzura rapidă a acestuia. Duritatea lor trebuie să fie mai mică decât duritatea fusului arborelui, cu toate acestea nu trebuie să fie prea dure astfel, încât să se lipească de suprafața fusului arborelui sau să se topească în timpul lucrului. Aliajul trebuie să fie poros, să rețină perfect materialul lubrifiant și să nu se fărâmițeze. În caz de retopire aliajul nu trebuie să-și schimbe compoziția chimică.

Proprietăți foarte bune antifricțiune posedă acele aliaje a căror structură este neomogenă și este compusă din particule tari și moi repartizate uniform în întreaga masă. Prezența particulelor tari în masa aliajului de bază (moale) permite acestor particule să se imprime sub acțiunea presiunii arborelui și prin aceasta să asigure cizinelor ajustajul perfect după fusul arborelui.



Baza moale și păstoasă ferește particulele fragile de fărâmițare și uzându-se repede în timpul frecării formează adâncituri mici, prin care circulă lubrifianțul în care se acumulează metalul fărâmițat prin frecare. În caz contrar particulele fărâmițate cum și produsele frecării vor contribui la uzura rapidă atât a lagărelor cât și a fusurilor arborilor.

Paralel cu condițiile indicate mai sus, aceste aliaje trebuie să fie ușor fuzibile, ceea ce permite turnarea lor directă în lagăre. Cu toate acestea temperatura de înmuiere trebuie să fie mai mare decât temperatura încălzirii posibile a pieselor în frecare. Cu cât conductibilitatea termică a aliajului va fi mai ridicată, cu atât evacuarea căldurii se va face în condiții mai bune și cu atât lagărele vor funcționa mai bine.

Ca aliaje antifricțiune își găsesc întrebuințare aliajele cu bază de staniu, plumb și zinc cu adăugiri de antimoniu, cupru, calciu, stronțiu, bariu, etc., cum și bronzurile de plumb și fontele antifricțiune. Aliajul se va alege în așa fel încât fusul să nu sufere.

Tabela 39

Compoziția chimică și întrebuințarea aproximativă a babilurilor (materiale antifricțiune)

Cali-tatea	Compoziția chimică în %						Intrebuințare aproximativă
	Anti-moniu	Cupru	Cadmiu	Plumb	Staniu	Alte elemente	
B-83	10...12	5,5...6,5	—	—	Restul	—	Pentru turnarea lagărelor de mașini cu încărcare mare
BN	13...15	1,5...2,0	1,25...1,75	Restul	9...11	Nichel 0,75...1,25 Arsen 0,5...0,9	Pentru turnarea lagărelor cu încărcare mijlocie
BT	14...16	0,7...1,1	—		9...11	Telur 0,05...0,20	Pentru lagărele motoarelor de tractoare și auto
B 16	15...17	1,5...2,0	—		15...17	—	Pentru lagărele mașinilor cu încărcare mijlocie
B 6	14...16	2,5...3,0	1,75...2,25		5...6	Arsen 0,6...1,0	Pentru lagărele mașinilor cu încărcare relativ redusă
BK	maxi-mum 0,25	—	—		—	Sodiu 0,65...0,95 Calciu 0,75...1,1	Pentru lagărele cu presiunea maximă de 200 kg/cm <sup>2</sup>

## 65. Aliajele antifricțiune cu bază de plumb sau staniu

Aliajele antifricțiune cu bază de staniu sau de plumb poartă denumirea de „babit”. Dacă în compoziția babilului se găsește între 12...18% antimoniu, aceasta are influență favorabilă asupra aliajului. Deși aliajele de antimoniu cu plumb sau staniu în timpul solidificării dau soluții solide, aceste soluții diferă foarte puțin de baza lor (plumb sau staniu), iar asupra calității babilurilor influența predominantă o au cristalele pure de antimoniu sau combinațiile chimice ale antimoniului cu staniul. Condițiile de turnare influențează asupra calității aliajului. În cazul răcirii foarte lente a aliajului topit, cristalele de antimoniu formate vor fi foarte mari, din care cauză calitatea babilului va fi inferioară. Răcirea rapidă contribuie la formarea cristalelor fine de antimoniu, ceea ce de asemenea influențează negativ calitatea babilului. Deseori în compoziția babilurilor se adaugă cupru. Adăugarea de cupru are drept scop să reducă segregția plumbului și totodată să se obțină incluziuni  $\text{Cu}_2\text{Sb}$  care se repartizează uniform în masa aliajului în formă de ace de culoare deschisă. Uneori în loc de cupru se introduce în babil nichelul.

În babilurile cu baza de staniu acesta împreună cu cuprul și antimoniul formează combinații chimice, care se repartizează uniform în întreaga masă a aliajului.

Babitul cel mai bun este cel preparat pe bază de staniu (marca B 83). Acest babil este folosit pentru turnarea cuzinetelor și a lagărelor la turbinele de aburi, turbo-compresorilor, turbo-pompelor, compresorilor de mare capacitate, motoarelor Diesel, mașinilor de abur cu număr mare de turații, utilizate la vapoare, a motoarelor de auto și aviație, foarte puternice și altele. În fig. 124 (pag. 180) se dă structura unui astfel de aliaj.

Datorită faptului că staniul este foarte scump și greu de procurat, în industrie sunt folosite pe scară întinsă babilurile cu bază de plumb, în care afară de plumb se mai găsește și antimoniu, cupru, cadmiu, nichel, arsen și staniu.

Babitul cu marca BN este folosit pentru turnarea lagărelor de bielă, a lagărelor principale și de serie dela motoarele cu combustie internă, precum și pentru turnarea lagărelor de bielă, principale și de serie, la motoarele de tractoare și auto, a locomotivelor electrice, a motoarelor electrice de 250...750 kW, a mașinilor de ridicat de maximum 180 CP, concasoarelor, etc.

Babitul B-16 a fost propus de profesorul A. M. Bocivar în anul 1918. Acesta poate în multe cazuri înlocui babilul B 83 și servește la turnarea jumătăților superioare a crapodinelor (lagărelor axiale) dela turbinele de aburi, a mașinilor navale și staționare de aburi a căror putere este de maximum 1200 CP, a hidro-turbinelor, a locomotivelor electrice, a motoarelor electrice de 250...750 kW, a mașinilor de ridicat de maximum 1800 CP, concasoare, etc.



Babitolul B 6 servește la turnarea lagărelor motoarelor cu petrol, compresorilor de orice putere, lagărelor pentru mașinile de prelucrat metalul, transmisii, motoare electrice de 100... 250 kW și altele.

În industria construcțiilor de motoare Diesel, este folosit babitolul, care conține circa 76% staniu, 13% antimoniu, 8,5% cupru, 1,5% plumb și 0,5% fier.

În industrie este folosit pe scară întinsă aliajul cu bază de plumb care conține 22% staniu, 1,7% cupru, 16% antimoniu, 0,36% grafit și circa 60% plumb. Grafitul în acest aliaj îndeplinește funcția de material auxiliar lubrifiant.

În calitate de aliaje antifricțiune sunt folosite babiturile cu metale alcaline și alcalino-pământoase, a căror cantitate totală nu trebuie să depășească 3%. Întrucât bariul, natriul, calciul, stronțitul, etc., se oxidează foarte repede, topirea acestui fel de babituri se face sub un strat de cărbune. Cuzineții se păstrează fiind perfect unși.

Pentru exemplificarea acestui fel de babituri se poate cita aliajul care conține în compoziție 96,5% plumb, 2,8% bariu, 0,4% cupru și 0,3% natriu. Temperatura de topire a unui astfel de babit este de 320°C, în timp ce babitolul pe bază de plumb și staniu se topește la 200°C.

În domeniul transporturilor feroviare, pentru lagărele vagoanelor de cale ferată, se utilizează babitolul de natriu și calciu — BK. În acest babit se admite un conținut maxim de antimoniu de 0,5%. Baza moale a babitolului de acest fel este formată din soluție solidă de natriu în plumb. Combinația chimică a plumbului și calciului este componenta solidă a aliajului. Acest babit este ieftin, însă are neajunsul schimbării compoziției chimice la retopire, datorită arderii calciului.

Babiturile de natriu și calciu se recomandă spre folosire pentru turnarea lagărelor locomotivelor, lagărelor de laminoare, tenderelor, a motoarelor de petrol, pompelor centrifugale, ventilatoarelor cu presiunea specifică de maximum 200 kg/cm<sup>2</sup>. Fabricația acestui fel de babit este mult mai complexă decât a celor cercetate mai sus.

Unul dintre materialele ieftine pentru lagăre sunt aliajele de zinc în compoziția cărora se introduce cupru, aluminiu, staniu, antimoniu și plumb. De pildă pentru înlocuirea babitolului B 16 se poate folosi aliajul de zinc cu 5% cupru și 5% aluminiu.

În anumite cazuri pentru înlocuirea babitolului de calitate superioară se pot folosi aliajele de aluminiu cu 2... 5% nichel, aliajele de aluminiu cu 5... 7% fier și 0,4... 0,6% magneziu, precum și aliajele de aluminiu cu 1,25% siliciu și 8,5% cupru. Aceste aliaje sunt mult mai ieftine decât cele cu staniu și rezistă la sarcini mari. Aliajul AN—25 cu 2... 3% nichel este elaborat de NIDI. Neajunsurile lagărelor confecționate din acest aliaj constau în faptul că sgârie arborele în timpul funcționării motoarelor de automobile și tractoare și se deformează.

NATI a propus aliajul de aluminiu în compoziția căruia intră antimoniu, plumb și magneziu. Acest aliaj posedă bune proprietăți antifricțiune. Pentru a evita deformarea și griparea lagărelor se confecționează o bandă din două straturi. O parte a benzii se confecționează din aliajul sus menționat, iar cealaltă din duraluminiu, care este mai rezistent și își conservă proprietățile sale elastice la temperaturi înalte.

Aliajele de zinc cu aluminiu și cupru, care conțin 2,0...3,0% cupru și 19...21% aluminiu, 4,5...5,5% cupru și 9,5...10,5% aluminiu și 9,5...10,5% cupru și 4,5...5,5% aluminiu, în anumite cazuri pot înlocui babilurile cu bază de staniu.

Tabela 40

Compoziția chimică a fontelor antifricțiune

Calitatea	Compoziția chimică în %								
	Carbon (total)	Siliciu	Mangan	Fosfor	Sulf	Crom	Nichel	Cupru	Aluminiu
Feritică . . . .	3,2—3,6	3,0—3,5	0,4	0,1	0,07	—	—	—	—
T-1 . . . . .	3,2—3,6	2,2—2,4	0,6—0,9	0,15—0,20	max. 0,12	0,2—0,35	0,3—0,4	0,2—0,3	0,1—0,15
T-2 . . . . .	3,2—3,6	2,2—2,4	0,6—0,9	0,15—0,20	max. 0,12	0,2—0,35	0,3—0,4	—	—
T-3 . . . . .	3,2—3,6	2,4—2,9	0,8—1,0	0,15—0,20	max. 0,12	0,2—0,35	0,3—0,4	0,7—0,9	0,1—0,15
Fonta perlitoferitică, iorjabilă .	2,5—2,8	—	0,35—0,60	0,10—0,18	max. 0,04	—	—	—	—
CM-1,8 . . . .	2,8—3,2	1,6—1,9	0,8—1,1	max. 0,3	max. 0,08	0,2—0,4	max. 0,5	1,5—2,0	—
CM-1,3 . . . .	2,8—3,2	0,6—1,0	0,6—0,9	max. 0,2	max. 0,06	max. 0,05	max. 0,5	1,0—1,5	—

În cazul presiunilor specifice de maximum 2,5 kg/mm<sup>2</sup> și a vitezelor periferice de 3...4 m/s, în timpul funcționării cu ungere și solicitare liniștită, se poate folosi ca material antifricțiune fonta perlitică (tabela 40). În cazul presiunilor specifice mai ridicate fonta nu se poate folosi ca material antifricțiune. Proprietățile superioare ale fontei maleabile se obțin în urma călirii și revenirii, datorită cărora perlita lamelară se transformă în perlita granulară, ceea ce ameliorează proprietățile sale antifricțiune.

La turnarea cuzinetilor cu babil se va urmări cu atenție, ca suprafețele pe care se face turnarea să fie perfect curățate de orice murdărie. În acest scop cuzineții sunt în prealabil degresați și spălați în apă clocotită. Degresarea se face în baie cu leșie, iar înainte de



aceasta cuzinetul se curăță bine cu hârtie șmirghel. După degresare și spălare cuzineții se decapează cu acid clorhidric (1:1) și se spală cu apă.

După aceasta, pe suprafața cuzinetului se așează cu ajutorul unei role de pâslă sau cu pensula un strat de fondant, care este compus dintr-o soluție de clorură de zinc (40% clorură de zinc și 80% apă) cu adăugare de 45 grame de clorură de amoniu pentru 1 litru de soluție. După întinderea unui strat uniform de material fondant cuzinetul se cositorește la temperatura 310...330 °C, iar după aceasta se toarnă babil. Turnarea se poate face pe cale obișnuită sub presiune și pe cale centrifugală în lagăre rotative. Ultimul mijloc este cel mai bun.

### 66. Aliajele antifricțiune cu bază de cupru

În cazul presiunilor mari, cum și în cazurile când are loc încălzirea lagărilor, sunt folosite în calitate de materiale antifricțiune bronzurile cu plumb, care conțin în compoziția lor maximum 60% plumb. Plumbul îndeplinește funcția de lubrifiant și reduce frecarea.

Afară de aceasta el ameliorează prelucrarea bronzului prin tăiere, îi sporește compactitatea și îi ameliorează fluiditatea. În mod obișnuit lingourile de bronz au segregatie foarte pronunțată cu caracter dendritic cu axele moi și spații interaxiale dure. Această proprietate este de mare importanță la folosirea bronzurilor ca material de confecționarea lagărelor.

Turnarea bronzurilor cu staniu prezintă unele greutăți, întrucât acestea segregă foarte puternic. Pentru a se micșora segregatia, răcirea după turnare se face repede (circa 15...17 °C/s).

Prezența fierului în compoziția bronzurilor cu plumb influențează nefavorabil proprietățile antifricțiune ale aliajelor. Aliajele antifricțiune de bună calitate nu trebuie să conțină în compoziția lor cantități de fier mai mari de 0,1...0,2%. Antimoniul mărește fluiditatea aliajului, însă în același timp îi mărește și fragilitatea. Conținutul de antimoniu în aliajele antifricțiune trebuie să fie sub 0,5%.

În cazul când în compoziția aliajului există nichel până la maximum 2%, acesta micșorează segregatia. Totuși prețul prea ridicat, precum și lipsa de nichel, nu permit introducerea lui în bronzurile antifricțiune.

Bronzurile antifricțiune pot înlocui babiturile cu bază de staniu. Desavantajul bronzurilor cu plumb constă în posibilitatea mai redusă de a le ajusta, în urma cărui fapt este necesară o ajustare și șlefuire exactă a cuzinetilor și a arborelui.

Asupra capacității de lucru a bronzurilor influențează și materialul intrat în compoziția aliajului. De regulă această chestiune se rezolvă pe cale experimentală.

Bronzurile cu bază de plumb accelerează procesul de oxidare a uleiului lubrifiant, ceea ce este un neajuns. Acest neajuns se poate însă înlătura prin folosirea uleiurilor cu proprietăți stabile.

Pentru a evita confectionarea cuzinetilor si a buşelor în întregime din metale neferoase, uneori se confectionează lagăre şi buşe din oţel; în interior, ele sunt căptuşite cu o bandă de bronz pentru cuzineţi, sau se introduce un tub de bronz confectionat prin ştanţare (compresare). Proprietăţile mecanice ale benzii se pot schimba pe scară largă prin ecruisare.

Pentru a reduce consumul de metale neferoase, sunt deseori folosite benzile şi buşele bimetalice. Aceste buşe se pot obţine prin turnarea bronzului cu plumb într'un tub încălzit la  $110 \dots 120^{\circ}\text{C}$  care se mişcă cu viteza de  $1\,000 \dots 1\,300$  rotaţii pe minut.

*In continuare*

*Capitolul IX*

*Proprietăţile metalelor si aliajilor*

*Vezi textul scris care se continuă  
cu textul încadrat în alătură pag 6*



## Temperatura de revenire a unor fabricate

Specificația	Calitatea oțelului	Temperatura de revenire °C
Freze, alezoare, burghie, tarozi, zencuitoare, etc. . . . .	U10, U10A, U12, U12A, HG	170—190
		190—210
	HYG	150—170
	OXS	540—560
Arcuri spirale . . . . .	Oțel rapid și înlocuitorii săi	două-patru ori
	50 HFA	430—450
	U7A	380—420
	60 S2	470—490
Arcuri late . . . . .	55 S	420—450
	60 S2	400—450
	50 HG	450—480
	65 S2	480—500
Axele diferitelor mașini și mecanisme (cu secțiunea peste 100 mm) Piese motoarelor cu combustie internă:		500—560
		400—510
	50 HF	350—400
	55	430—450
Arborii de distribuție . . . . .	30 H	540—560
	20	200—220
	13 H2A	160—180
	40	500—520
Biele . . . . .	35 G	610—630
	18 HNMA	180—220
	40 HNMA	560—620
	EI—107	760—800
Supape . . . . .	40 H	600—620
	25 HNNFA	620—660
	45	170—190
	118 HNMA	180—220
Piese de auto, tractoare, roți dințate de strung, cutii de viteze reductoare, diferențiale, etc. . . . .	40 HS	580—620
	20 HS	180—200
	12 H24 CA	170—210
	50 HN	250
Șuruburi . . . . .	12HN3 A	150—180
	18 HNMA	180—200
	40 H	590—630
	40 SH	560—600
Piulițe . . . . .	40 HN	410—430
	20 HGS	500—520
	45	530—570
	40 HN	540—560
	35	530—560
	40 HS	650—690

**Compoziția chimică a oțelului aliat de construcții**  
(GOST 4543-48)

*Anexa II*

Numărul grupel	Categoria oțelului	Calitatea oțelului	Compoziția chimică în %					
			Carbon	Siliciu	Mangan	Crom	Nichel	Alte elemente de aliere
Oțel superior								
1	Cu crom	15 H	0,12—0,20	0,17—0,37	0,30—0,60	0,70—1,00	≦0,40	—
		20 H	0,15—0,25	0,17—0,37	0,50—0,80	0,70—1,00	≦0,40	—
		30 H	0,25—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≦0,40	—
		35 H	0,30—0,40	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≦0,40	—
		40 H	0,35—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≦0,40	—
		45 H	0,40—0,50	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≦0,40	—
		50 H	0,45—0,55	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≦0,40	—
2	Crom-Vanadiu	15 HF	0,12—0,20	0,17—0,37	0,30—0,60	0,80—1,10	≦0,40	Vanadiu 0,10—0,20
		20 HF	0,15—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≦0,40	0,10—0,20
3	Molibden	15 M	0,10—0,18	0,17—0,37	0,40—0,70	≦0,30	≦0,30	Molibden 0,40—0,55
		20 M	0,15—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	≦0,30	≦0,30	0,40—0,55
		30 M	0,25—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	≦0,30	≦0,40	0,40—0,55
4	Crom-Molibden	12 HM	≦ 0,16	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≦0,30	0,40—0,55
		20 HM	0,15—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≦0,40	0,15—0,25
		30 HM	0,25—0,35	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≦0,40	0,15—0,25
		35 HM	0,30—0,40	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≦0,40	0,15—0,25
5	Crom-Siliciu	33 HS	0,29—0,37	1,00—1,30	0,30—0,60	1,30—1,60	≦0,40	—
		37 HS (40 HS)	0,32—0,42	1,00—1,30	0,30—0,60	1,30—1,60	≦0,40	—
		40 HS	0,37—0,45	1,20—1,60	0,30—0,60	1,30—1,60	≦0,40	—
6	Crom-Mangan	15 HG	0,12—0,20	0,17—0,37	1,10—1,40	0,40—0,70	≦0,40	—
		20 HG	0,15—0,25	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≦0,40	—
		40 HG	0,35—0,45	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≦0,40	—
		35 HG 2	0,30—0,40	0,17—0,37	1,60—1,90	0,40—0,70	≦0,40	—



7	Idem cu Titan	13 HGT	0,16—0,24	0,17—0,37	0,80—1,10	1,00—1,30	≤0,40	Titan 0,08—0,15
	Crom-Mangan-Molibden	18 HGM	0,16—0,24	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	Molibden 0,20—0,30
		40 HGM (38 HGM)	0,37—0,45	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	0,20—0,30
8	Siliciu-Mangan	27 SG	0,22—0,32	1,10—1,40	1,10—1,40	≤0,30	≤0,40	—
		35 SG	0,30—0,40	1,10—1,40	1,10—1,40	≤0,30	≤0,40	—
9	Crom-Siliciu-Mangan	20 HGS	0,15—0,25	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		25 HGS	0,22—0,30	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		30 HGS	0,25—0,35	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		35 HGS	0,30—0,40	1,10—1,40	0,90—1,10	1,10—1,40	≤0,40	—
12	Nichel	25 N	0,20—0,30	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	0,50—0,90	—
		30 N	0,25—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	0,80—1,20	—
13	Nichel-Molibden	15 NM	0,10—0,18	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	1,50—2,00	Molibden 0,20—0,30
		20 NM	0,17—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	1,50—2,00	0,20—0,30
		40 NM	0,37—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	1,50—2,00	0,20—0,30
14	Crom-Nichel	20 HN	0,15—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		40 HN	0,35—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		45 HN	0,40—0,50	0,17—0,37	0,50—0,80	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		50 HN	0,45—0,55	0,17—0,37	0,50—0,80	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		12 HN 2	≤0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	1,50—2,00	—
		12 HN 3	≤0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25	—
		20 HN 3	0,25—0,35	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25	—
		12 H 2 N 4	≤0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	1,25—1,75	3,25—3,75	—
		20 H 2 N 4	0,15—0,22	0,17—0,37	0,30—0,60	1,25—1,75	3,25—3,75	—

Numărul grupe	Categoria oțelului	Calitatea oțelului	Compoziția chimică în %					
			Carbon	Siliciu	Mangan	Crom	Nichel	Alte elemente de aliere
Oțel de calitate superioară								
1	Crom	15 HA	0,12-0,18	0,17-0,37	0,30-0,60	0,70-1,00	≤0,40	—
		20 HA	0,17-0,24	0,17-0,37	0,50-0,80	0,70-1,00	≤0,40	—
		30 HA	0,25-0,33	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	≤0,40	—
		30 HA	0,34-0,42	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	≤0,40	—
		45 HA	0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	≤0,40	—
		50 HA	0,47-0,55	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	≤0,40	—
2	Crom-Vanadiu	15 HFA	0,12-0,18	0,17-0,37	0,30-0,60	0,80-1,10	≤0,40	Vanadiu 0,10-0,20
		20 HFA	0,17-0,25	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	≤0,40	0,10-0,20
		40 HFA	0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	≤0,40	0,10-0,20
		50 HFA	0,46-0,54	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	≤0,40	0,10-0,20
3	Molibden	12 MA	0,10-0,16	0,17-0,37	0,40-0,70	≤0,30	≤0,30	Molibden 0,40-0,55
		20 MA	0,17-0,24	0,17-0,37	0,40-0,70	≤0,30	≤0,30	0,40-0,55
		30 MA	0,26-0,34	0,17-0,37	0,50-0,80	≤0,30	≤0,30	0,40-0,55
4	Crom-Molibden	15 HMA	0,10-0,18	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	≤0,30	Molibden 0,40-0,55
		20 HMA	0,17-0,24	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	≤0,40	0,15-0,25
		30 HMA	0,25-0,33	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	≤0,40	0,15-0,25
		35 HMA	0,32-0,40	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	≤0,40	0,15-0,25
		35 H2MA	0,32-0,40	0,17-0,37	0,40-0,70	1,60-1,90	≤0,30	0,15-0,25
5	Crom-Siliciu	33 HSA	0,29-0,37	1,00-1,30	0,30-0,60	1,30-1,60	≤0,40	—
		40 HSA	0,37-0,45	1,00-1,30	0,30-0,60	1,30-1,60	≤0,40	—
6	Crom-Mangan	15 HGA	0,12-0,18	0,17-0,37	1,10-1,40	0,40-0,70	≤0,40	—
		20 HGA	0,18-0,25	0,17-0,37	0,90-1,20	0,90-1,20	≤0,40	—
		40 HGA	0,37-0,45	0,17-0,37	0,90-1,20	0,90-1,20	≤0,40	—
		35 HG2A	0,32-0,40	0,17-0,37	1,60-1,90	0,40-0,70	≤0,40	—



7	Crom-Mangan-Molibden	18 HGMA	0,16—0,24	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	Molibden
		40 HGMA	0,37—0,45	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	0,20—0,30
9	Crom-Mangan-Siliciu	20 HGSA	0,17—0,24	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		25 HGSA	0,22—0,29	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		30 HGSA	0,28—0,35	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		35 HGSA	0,32—0,39	1,10—1,40	0,80—1,10	1,10—1,40	≤0,40	—
10	Crom-Aluminiu și Crom-Molibden-Aluminiu	35 HIA	0,31—0,39	0,17—0,37	0,30—0,60	1,35—1,65	≤0,40	Aluminiu
		58 HMIA	0,35—0,42	0,17—0,37	0,30—0,60	1,35—1,65	≤0,40	0,70—1,20
								0,70—1,10
								Molibden
								0,15—0,25
11	Crom-Molibden-Vanadiu	35 HMFA	0,30—0,38	0,17—0,37	0,40—0,70	1,00—1,30	≤0,40	Vanadiu
		25 H2MFA	0,22—0,29	0,17—0,37	0,40—0,70	1,50—1,80	≤0,40	0,10—0,20
								Molibden
								0,20—0,30
								Vanadiu
								0,15—0,30
								Molibden
								0,20—0,30
12	Nichel	25 HA	0,22—0,30	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	0,50—0,90	—
		30 HA	0,27—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	0,80—1,20	—
13	Nichel-Molibden	15 HMA	≤0,17	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	1,50—2,00	Molibden
		40 HMA	0,37—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	1,50—2,00	0,20—0,30
14	Crom-Nichel	20 HNA	0,15—0,23	0,17—0,37	0,40—0,70	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		40 HNA	0,37—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		12 HN2A	0,11—0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	1,50—2,00	—
		12 HN3A	0,11—0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25	—
		20 HN3A	0,17—0,25	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25	—
14	Crom-Nichel	30 HN3A	0,27—0,35	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25	—
		37 HN3A	0,33—0,41	0,17—0,37	0,25—0,55	1,20—1,60	3,00—3,50	—
		12 H2N4A	0,11—0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	1,25—1,75	3,25—3,75	—
		20 H2N4A	0,5—0,22	0,17—0,37	0,30—0,60	1,25—1,75	3,25—3,75	—

Numărul grupei	Categoria oțelului	Calitatea oțelului	Compoziția chimică în %					
			Carbon	Siliciu	Mangan	Crom	Nichel	Alte elemente de aliere
15	Crom-Nichel-Vanadiu	20 HN4FA	0,17—0,24	0,17—0,37	0,25—0,55	0,70—1,10	3,75—4,25	Vanadiu 0,15—0,30
16	Crom-Nichel-Wolfram	18 HNVA	0,14—0,21	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,00—4,50	Wolfram 0,80—1,20
		25 HNVA	0,21—0,28	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,00—4,50	0,80—1,20
17	Crom-Nichel-Molibden	12 H2N3MA	0,10—0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	1,45—1,75	2,75—3,25	Molibden 0,20—0,30
		18 H2N4MA	0,15—0,22	0,17—0,37	0,40—0,70	1,45—1,75	3,25—3,75	0,20—0,30
		33 HN3MA	0,29—0,37	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	2,50—3,00	0,20—0,30
		40 HNMA	0,36—0,44	0,17—0,37	0,50—0,80	0,60—0,90	1,25—1,75	0,15—0,20
18	Crom-Nichel-Molibden	30 HN2MFA	0,26—0,33	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,00—2,50	Vanadiu 0,15—0,30
								Molibden 0,20—0,30
		45 HNMFA	0,42—0,50	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	1,30—1,80	Vanadiu 0,10—0,20
								Molibden 0,20—0,30

*Observații.* 1. La marca oțelului numerele formate din două cifre stânga, indică conținut mijlociu de carbon în sutimi de procente, literele din dreapta cifrelor arată: G — Mangan; C — Siliciu; H — Crom; N — Nickel; V — Wolfram; F — Vanadiu; M — Molibden; I — Aluminii; T — Titan. Cifrele de după litere indică conținutul în procente a elementului respectiv în unități întregi. Categoriile de oțel de calitate superioară sunt indicate la sfârșit prin A. În paranteză se dau însemnările anterioare ale mărcilor.

2. Calitățile de oțel aliate cu Molibden, Wolfram și Vanadiu, precum și cu Nickel peste 2,0% se vor folosi numai în cazuri bine întemelteate din punct de vedere tehnic și numai cu aprobarea obținută conform dispozițiilor în vigoare.

3. În oțelurile de calitate 40 H care sunt furnizate de fabrică uzinelor de auto și tractoare conținutul de carbon va fi în limitele 0,37—0,45%.

4. În oțelurile de calitate 18 HNVA și 25 HNVA, Wolframul se poate înlocui cu Molibden în proporție 3 părți greutate de Wolfram cu o parte — în greutate — de Molibden.



## Proprietățile mecanice ale oțelului de construcție aliat (GOST 4543-48)

Proprietăți mecanice ale oțelului de construcție aliat (GOST 4543-48)											
Nr. grupării oțelului	Calitatea oțelului	Tratamentul termic					Proprietățile mecanice				
		Călirea			Revenirea		Rezistența de rupere, kg/mm <sup>2</sup>	Limita de curgere kg/mm <sup>2</sup>	Alungire %	Gătuirea la rupere în %	Reziliența în kgm/cm <sup>2</sup>
		Temperatura °C		Mediu	Temperatura °C	Mediu					
		Prima călire	A doua călire								
minim											
1	15H	830	780	Apă	200	Aer	70	50	10	45	7
	15HA	860	780	"	200	"	70	50	11	50	8
	20H	860	—	Apă sau ulei	200	Apă sau ulei	80	60	10	40	6
	30H	860	—	Ulei	500	" " "	90	70	11	45	6
	35H	860	—	"	500	" " "	95	75	10	45	6
	38HA	860	—	"	550	" " "	95	80	12	50	9
	40H	850	—	"	500	" " "	100	80	9	45	6
	45H	840	—	"	500	" " "	105	85	8	40	5
	50H	830	—	"	500	" " "	110	90	8	40	4
2	15HF	860	780	Apă	200	Aer	75	55	12	50	8
	20HF	880	—	Apă sau ulei	500	Apă sau ulei	80	60	12	50	8
	40HFA	880	—	Ulei	650	" " "	90	75	10	50	9
	50HFA	860	—	"	475	" " "	130	110	10	45	—
4	20HM	880	—	Apă sau ulei	500	" " "	80	60	12	50	9
	30HM	880	—	Ulei	560	" " "	95	75	11	45	8
	30HMA	880	—	"	560	" " "	95	75	12	50	9
	35HM	850	—	"	560	" " "	95	80	11	45	7
	35HMA	850	—	"	560	" " "	95	80	12	50	8
	35H2MA	870	—	"	620	" " "	105	90	8	45	8

Nr. grupării oțelului	Calitatea oțelului	Tratamentul termic					Proprietățile mecanice				
		Călirea			Revenirea		Rezistența de rupere, kg/mm <sup>2</sup>	Limita de curgere kg/mm <sup>2</sup>	Alungire %	Gătuirea la rupere, în %	Reziliența în kg/cm <sup>2</sup>
		Temperatura °C		Mediu	Temperatura °C	Mediu					
		Prima călire	A doua călire								
minim											
5	35HS	920	—	Apă sau ulei	630	Apă sau ulei	85	65	13	50	6
	37HS (40 SH)	900	—	Ulei	630	Ulei	90	70	12	50	7
	40HS	900	—	"	540	"	125	105	12	40	5
6	20HG	860	—	"	180	Aer	80	60	12	50	—
	35HG2	870	—	"	600	Apă	85	70	12	45	8
7	18HGM	860	—	"	180	Aer	110	90	10	50	9
	40HGM	850	—	"	600	Apă sau ulei	100	80	10	45	9
8	27SG	920	—	Apă	420	" " "	100	80	12	40	5
	35SH	900	—	"	590	Apă	85	65	15	40	6
9	20HGS	880	—	Ulei	500	Apă sau ulei	80	60	10	40	6
	30HGS	880	—	"	520	" " "	110	85	10	45	4,5
	30HGSA	880	—	"	520	" " "	110	85	10	45	5
	35HGSA	880	—	"	520	" " "	165	130	9	45	6
	Călire izotermică la 880 °C prin amestec cu soluție de calciu și natriu la 280...310 °C										
10	35HIA	940	—	Apă caldă sau ulei	650	Apă sau ulei	95	75	10	50	8
	38HMIA	940	—	" " "	650	" " "	100	85	15	50	9
11	35HMFA	900	—	Ulei	630	" " "	110	95	10	50	9
13	15HM	860	780	"	200	Aer	85	65	11	50	8



14	20HN	840	—	Apă sau ulei	500	Apă sau ulei	80	60	10	50	8
	40HN	820	—	Ulei	500	"	100	80	10	45	7
	45HN	820	—	"	530	"	100	80	10	45	7
	50HN	820	—	"	500	"	110	85	8	40	5
	12HN2	860	780	Ulei sau apă	200	"	80	60	12	50	8
	12HN2A	860	780	"	200	"	80	60	12	50	9
	12HN3	860	780	Ulei	150	"	95	70	10	50	8
	12HN3A	860	780	"	150	"	95	70	11	55	9
	20HN3A	820	—	"	500	"	95	75	11	55	10
	30HN3	820	—	"	530	"	100	80	9	45	8
	37HN3A	820	—	"	530	"	115	100	10	50	6
	12H2N4	880	780	"	200	Aer	110	85	10	50	8
	12H2N4A	880	780	"	200	"	110	85	10	50	9
	20H2N4	880	780	"	200	"	120	110	9	45	7
	20H2N4A	880	780	"	200	"	120	110	9	45	8
15	20HN4FA	850	—	"	510	Ulei	110	90	10	50	8
16	18HNVA	950	850	Aer	160	Aer	115	85	12	50	10
	25HNVA	850	—	Ulei	560	Ulei	110	95	11	45	9
17	12H2N3MA	860	—	"	180	Apă sau ulei	100	80	9	50	9
	18H2N4MA	950	850	Aer	200	Aer	115	85	10	45	10
	40HNMA	850	—	Ulei	600	Apă sau ulei	100	85	12	55	10
18	30HN2MFA	860	—	"	680	"	90	80	10	40	9
	45HNMF	860	—	"	460	Ulei	150	135	7	35	4

Observații. 1. Normele proprietăților mecanice, pentru calitățile de oțeluri care nu sunt arătate în tabelă, se stabilesc pe bază de caiete de sarcini speciale.

2. Normele citate în tabelă privesc oțelul cu profil până la 60 mm. La încercarea oțelului cu dimensiunea de la 60 până la 100 mm se admite micșorarea alungirii cu o unitate și gătuirea cu 5 unități față de prevederile normelor, arătate în tabelă. Pentru oțeluri cu dimensiunea de la 100 până la 150 mm se admite micșorarea alungirii cu 2 unități și gătuirea cu 10 unități față de normele arătate în tabelă. Pe baza înțelegerii între părți pentru oțelurile cu aceste dimensiuni se admite micșorarea rezilienței cu 10%. Pentru oțeluri cu dimensiunile mai mari de 150 mm, ordinea de stabilire a proprietăților mecanice și a normelor se stabilește pe bază de caiete de sarcini speciale.

3. Pe baza înțelegerii între părți pentru oțeluri de anumite calități la determinarea proprietăților lor mecanice se admite modificarea regimului de tratament termic, arătat în tabelă 3, cu corectările respective ale proprietăților lor mecanice.

Raportul dintre durități după Brinell și Rockwell

Duritatea după Brinell		Duritatea după Rockwell		Duritatea după Brinell		Duritatea după Rockwell	
Diametrul amprentei în mm	Numărul de duritate	Scara C (diamant)	Scara B (bilă de oțel)	Diametrul amprentei în mm	Numărul de duritate	Scara C (diamant)	Scara B (bilă de oțel)
2,20	782	72	—	3,40	321	35	—
2,25	745	69	—	3,45	311	34	—
2,30	712	67	—	3,50	302	33	—
2,35	683	65	—	3,55	293	31	—
2,40	652	63	—	3,60	285	30	—
2,45	627	61	—	3,65	277	29	—
2,50	600	59	—	3,70	269	28	—
2,55	578	58	—	3,75	262	27	—
2,60	555	56	—	3,80	255	26	—
2,65	532	54	—	3,85	248	25	—
2,70	512	52	—	3,90	241	24	100
2,75	495	51	—	3,95	235	23	99
2,80	477	49	—	4,00	229	22	98
2,85	460	48	—	4,05	223	21	97
2,90	444	47	—	4,10	217	20	97
2,95	429	45	—	4,15	212	19	96
3,00	415	44	—	4,20	207	18	95
3,05	401	43	—	4,25	201	—	94
3,10	388	41	—	4,30	197	—	93
3,15	375	40	—	4,35	192	—	91
3,20	363	39	—	4,40	187	—	92
3,25	352	38	—	4,45	183	—	89
3,30	341	37	—	4,50	179	—	88
3,35	331	36	—	4,55	174	—	87
4,60	170	—	86	5,70	107	—	59
4,65	167	—	85	5,75	105	—	58
4,70	163	—	84	5,80	103	—	57
4,75	159	—	83	5,85	101	—	56
4,80	155	—	82	5,90	99	—	54
4,85	152	—	81	5,95	97	—	53
4,90	149	—	80	6,00	96	—	
4,95	146	—	78	6,05			
5,00	143	—	76	6,10			
5,05	140	—	76				
5,10	137	—	75				
5,15	134	—	74				
5,20	131	—	72				
5,25	128	—	71				
5,30	126	—	69				
5,35	123	—	69				
5,40	121	—	67				
5,45	118	—	66				
5,50	116	—	65				
5,55	114	—	64				
5,60	111	—	62				
5,65	109	—	61				



## BIBLIOGRAFIE

1. G. Achimov, Bazele de studiu despre coroziuni și protecția metalelor, Metallurgizdat 1946.
2. A. D. Assonov, Tratatamentul termic al pieselor automobilului, Mașgiz 1948.
3. A. L. Baboșin, Metalografia și tratamentul termic al fierului, oțelului și fontei, ONTI 1838.
4. N. F. Bolchovitinov, Metalografie și tratamentul termic.
5. A. A. Bocivar, Studiul metalelor, Metallurgizdat 1946.
6. S. M. Voronov, Proceduri de îmbunătățire a aliajelor de aluminiu-magneziu-siliciu și compoziții industriale noi, Oborongiz 1946.
7. J. Geller, V. Babaev, Oțelul de scule, Metallurgizdat, 1945.
8. A. P. Gullaev, J. M. Lachtin, A. I. Tarusin, Tratatamentul termic al oțelului, Mașgiz 1946.
9. A. P. Guhaev, Oțelurile de scule și tratamentul lor termic, Mașgiz 1943.
10. N. N. Davdencov, Încercările dinamice ale metalelor, Ediția a 2-a, ONTI, 1936.
11. G. Sax, Metalurgia practică, vol. I, II, III, ONTI 1937.
12. G. A. Cașcenko, Studiul metalelor, Metallurgizdat, 1949.
13. I. E. Contorovici, Proprietățile și tratamentul oțelurilor pentru construcții de mașini, Metallurgizdat 1944.
14. I. E. Contorovici, Tratatamentul termic al oțelului și al fontei, Metallurgizdat, 1945.
15. V. Crening, R. Ambarzumian, Coroziunea metalelor în aviație, Oborongiz, 1941.
16. I. V. Cudreavșev, M. M. Soverin, A. V. Riabcencov, Metodele întăririi la suprafață a pieselor de mașini, Mașgiz, 1949.
17. J. M. Lahtin, Azotarea oțelului, Mașgiz, 1943.
18. N. A. Minchevici, Tratatamentul termic al oțelului, Metallurgizdat, 1935.
19. V. A. Nemilov, Metalografie generală, ediția acad. de științe U.R.S.S. 1947.
20. I. A. Odîng, Metodele actuale de încercări ale metalelor, ediția a 4-a, Metallurgizdat 1944.
21. M. Slavinschi, Babbitele cu un conținut redus de staniu și fără staniu, ONTI 1935 și 1937.
22. V. Turchin și M. Rumianșev, Structura și proprietățile metalelor neferoase, Metallurgizdat, 1948.
23. G. B. Fridman, Proprietățile mecanice ale metalelor, Oborongiz, 1946.
24. N. A. Sapoșnicov, Bazele încercărilor metalelor, ONTI 1936.
25. Štimel, Metalografia aliajelor tehnice de cupru, Gosmetallurgizdat, 1945.
26. S. S. Steinberg, Bazele tratamentului termic ale oțelului, Metallurgizdat, 1945.
27. Călăuză enciclopedică „Mașinostroenie”.
28. Îmbunătățirea calităților oțelurilor pentru construcție de mașini prin tratamentul la suprafață, lucrarea apărută sub red. membrilor corespondenți ai academiei de științe U. R. S. S., I. A. Ading (TNIITMAȘ cartea 10) Mașgiz 1947.

## TABLĂ DE MATERII

<i>Prefață</i> . . . . .	3
<i>Introducerea și scurt istoric</i> . . . . .	5
<b>Capitolul I. Bazele metalografiei</b> . . . . .	13
1. Considerații generale asupra structurii cristaline a metalelor . . . . .	15
2. Noțiuni despre aliaje . . . . .	19
3. Intocmirea diagramelor de echilibru ale aliajelor formate din doi com- ponenti . . . . .	20
4. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componentii se separă din starea lichidă, sub formă pură și nu se disolvă unul în altul, în stare solidă . . . . .	23
5. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componentii constituie în timpul răcirii o serie de soluții solide de diferite concentrații . . . . .	26
6. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componentii se disolvă în stare solidă în raporturi limitate . . . . .	28
7. Diagrama de echilibru a aliajelor, în care componentii formează com- binații chimice în timpul solidificării . . . . .	29
8. Diagrama de echilibru a aliajelor fier-carbon . . . . .	29
Aliajele cu un conținut de carbon până la 0,83% . . . . .	31
Aliajele cu un conținut de carbon dela 0,83 până la 1,7% . . . . .	31
Aliajele cu un conținut de carbon dela 1,7 până la 4,3% . . . . .	32
Aliajele cu un conținut de carbon dela 4,3 până la 6,67% . . . . .	32
9. Punctele critice ale fierului și ale oțelului . . . . .	34
<b>Capitolul II. Defectele oțelului și controlul turnării</b> . . . . .	36
10. Retasuri . . . . .	36
Retasuri și porozități . . . . .	36
Suflurile . . . . .	37
11. Crăpăturile (fisurile) . . . . .	38
12. Repartizarea neuniformă a elementelor (Segregația) . . . . .	39
Segregația zonală . . . . .	39
Segregația dendritică . . . . .	40
13. Fulgii și ruptura sinuoasă a oțelului . . . . .	41
14. Incluziuni nemetalice . . . . .	42
15. Controlul oțelului după macrostructură . . . . .	43



<b>Capitolul III. Proprietățile mecanice</b>	<b>47</b>
16. Incercările mecanice ale metalelor și aliajelor	47
17. Incercările de duritate	53
<b>Capitolul IV. Recoacerea oțelului</b>	<b>55</b>
18. Condițiile recoacerii	57
19. Influența vitezei de răcire asupra structurii oțelului	60
20. Recoacerea pieselor turnate	62
21. Recoacerea rapidă a oțelului	65
22. Recoacerea în atmosfera desoxidată	66
<b>Capitolul V. Călirea oțelului</b>	<b>72</b>
23. Temperatura și viteza de încălzire	74
24. Timpul de menținere la temperatură și viteza de răcire	76
25. Mediul de răcire	80
26. Defectele oțelului datorite căldurii	85
Crăpăturile de călire	85
Variația dimensiunilor și deformarea pieselor la călire	88
27. Călirea superficială	89
Încălzirea cu ajutorul flăcării oxi-acetilenice	89
Încălzirea cu ajutorul curentului de înaltă frecvență după metoda lui V. P. Vologdin	92
Încălzirea cu ajutorul curentului electric după metoda lui N. V. Geveling	93
Călirea cu ajutorul curentului electric în jet de electrolit	93
28. Călire isotermică și călire în trepte a oțelului	94
29. Tratarea oțelului călit la temperaturi sub 0 (negative)	97
30. Gradul de călire al oțelului (sensibilitatea la călire)	99
<b>Capitolul VI. Revenirea oțelului călit</b>	<b>102</b>
31. Influența revenirii asupra proprietăților oțelului	102
32. Temperatura de revenire și timpul de menținere	104
<b>Capitolul VII. Tratatamentul termo-chimic al oțelului</b>	<b>105</b>
33. Cementarea	105
34. Oțelurile pentru cementare	105
35. Amestecurile de carburare (carburizatori)	106
36. Pregătirea pieselor pentru cementare și împachetarea lor în cutii	108
37. Temperatura de încălzire la cementare, durata și tratamentul termic ulterior	112
38. Determinarea dimensiunilor granulelor oțelului cu ajutorul cementării	114
39. Cementarea în carburizator gazos	117
40. Azotarea oțelului	118
41. Cianurarea	121



Capitolul VIII. Oțelurile aliate . . . . .	126
42. Influența adăsurilor de aliere asupra calității oțelului . . . . .	129
Carbonul . . . . .	129
Manganul . . . . .	131
Siliciul . . . . .	132
Cromul . . . . .	132
Nichelul . . . . .	133
Wolframul . . . . .	133
Molibdenul . . . . .	134
Vanadiul . . . . .	135
43. Oțelurile cu nichel . . . . .	135
44. Oțelurile cu crom și oțelurile cu crom-molibden . . . . .	138
45. Oțelurile cu mangan . . . . .	142
46. Oțelurile cu wolfram . . . . .	144
47. Oțelurile cu crom-nichel și crom-nichel-molibden . . . . .	145
48. Oțelurile cu crom-mangan-siliciu . . . . .	150
Capitolul IX. Oțelurile rapide . . . . .	152
49. Particularitățile oțelurilor rapide . . . . .	152
50. Oțelurile rapide de înlocuire . . . . .	155
51. Mărirea durabilității sculelor confecționate din oțeluri rapide . . . . .	159
52. Nitrurarea sculelor . . . . .	160
Nitrurarea în săruri topite . . . . .	161
Nitrurarea în mediu gazos . . . . .	163
Nitrurarea sculelor cu substanță solidă . . . . .	164
Capitolul X. Prelucrarea metalelor la rece, prin presare . . . . .	167
53. Influența ecruisării asupra proprietăților mecanice . . . . .	168
54. Factorii care influențează asupra capacității de deformare a metalului . . . . .	170
55. Recoacerea metalului ecruisat . . . . .	171
56. Ecruisarea suprafeței pieselor cu ajutorul alicelor . . . . .	174
Capitolul XI. Fontele . . . . .	175
57. Fontele cenușii . . . . .	176
58. Influența formei incluziunilor și impurităților de grafit asupra proprietăților mecanice ale fontei . . . . .	177
59. Tratamentul termic al fontelor cenușii . . . . .	181
60. Fontele maleabile . . . . .	183
61. Recoacerea rapidă a fontei maleabile . . . . .	185
Capitolul XII. Coroziunea metalelor și lupta împotriva ei . . . . .	187
62. Aspectele coroziunii și factorii care o influențează . . . . .	187
63. Metodele de protejarea metalelor împotriva coroziunii . . . . .	190
Protejarea prin acoperire . . . . .	190
Pasivizare . . . . .	191
Oxidare . . . . .	191
Fosfatare . . . . .	192
Brunare . . . . .	193
Protejarea metalelor . . . . .	193
Prelucrarea mediului corosiv . . . . .	194



Capitolul XIII. Aliajele neferoase	194
64. Compoziția și proprietățile metalelor și aliajelor	195
Cuprul	195
Alama	197
Bronzurile	201
Bronzurile de înlocuire	203
Aluminiul și aliajele sale	205
Magneziul și aliajele sale	209
Capitolul XIV. Aliajele antifricțiune	210
65. Aliajele antifricțiune cu bază de plumb și staniu	212
66. Aliajele antifricțiune cu bază de cupru	215
Anexa I.	217
Anexa II.	218
Anexa III.	223
Anexa IV.	226

## ERATA

Pag.	Rând	In loc de:	Se va citi:
17	22 jos	Structura inferioară	Structura interioară
19	11	Agitat prin evitarea	Evitat prin agitarea
21	15	322 °C	327 °C
30	12 jos	Fe <sub>2</sub> C	Fe <sub>3</sub> C
36	13 jos	Colocuçchi	Calacuçchi
43	19, 22, 28	Saibe	Probe
46	12	Amprente pe sulf	Amprente de sulf
71	10 jos	A. B. Smirnov și H. V. Belornecov	A. V. Smirnov și L. V. Belorucev
82	Tabela 8, r. 1	820	280
100	2 jos	produsă	propusă
101	nota la tab. 12	calitativ	de calitate
111	12	aliate	alitate
112	6	carbonatului	carbonului
120	3	cade	scade
120	14	duritatea	durata
127	11	fonduri dat fiind costul mai ridicat	alte materiale, cu costul mai ridicat
144	4	1050...2100°	1050...1100°
155	3	amestec de 50% nisip de cuarț	amestec de 50% cărbune și 50% nisip de cuarț
181	1	modificărilor	modificatorilor
183	38	200 mm	20 mm
215	6	80% apă	60% apă
222	8 jos	C-Siliciu	S-Siliciu
222	8 jos	N-Molibden	M-Molibden